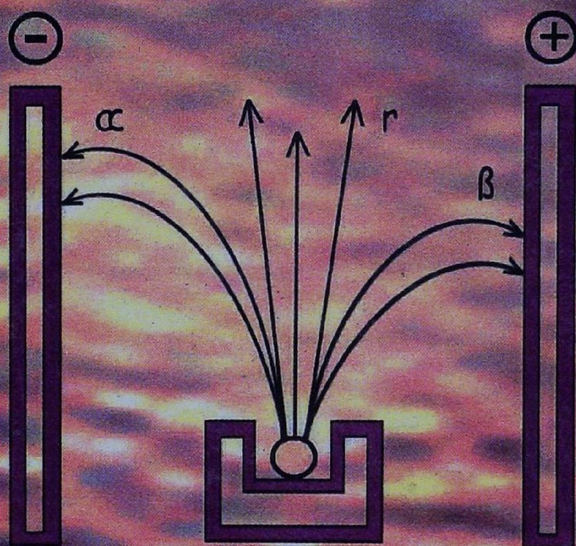
இயல்பியல் களஞ்சியம்

ENCYCLOPEDIA OF PHYSICS



முதன்மைத் தொகுப்பாசிரியர்

ப க பொன்னுசாமி

இயல்பியல் களஞ்சியம்

ENCYCLOPEDIA OF PHYSICS

முதன்மைத் தொகுப்பாசிரியர்

பேராசிரியர் ப க பொன்னுசாமி
துணைவேந்தர்
சென்னைப் பல்கலைக்கழகம்

பாரதிதாசன் பல்கலைக்கழகமும்
சென்னைப் பல்கலைக்கழகமும்
இணைந்து பதிப்பிக்கும் வெளியீடு

1997

முதற் பதிப்பு 1997

விலை ரூ. 300/-

துணைத் தொகுப்பாசிரியர்கள்

பேராசிரியர் எஸ் நடராசன்
அறிவியல்புலத் தலைவர்
அண்ணா பல்கலைக்கழகம்
சென்னை 600 025

பேராசிரியர் கொ அய்யாக்குட்டி
இயல்பியல் துறை
மதுரை காமராசர் பல்கலைக்கழகம்
மதுரை 625 021

அச்சகம்
பி ஆர் லித்தோகிராபர்ஸ் சென்னை 600 013

பொருளடக்கம்

அறிமுகம்

அறிவியல் இலக்கியம் என்பது பல கூறுகளைக் கொண்டதாகும். பாடநூல்கள், ஆராய்ச்சிக் கட்டுரைகள், தொகுப்புக் கட்டுரைகள், அறிவியல் கருத்துக்களைத் தாங்கிவரும் கதைகள், நாவல்கள், பொருள்விளக்கும் களஞ்சியங்கள், கலைச்சொல் தொகுப்புகள் என்பன குறிப்பிடத்தக்க கூறுகளாகும். இக்கூறுகளில் பரவியிருக்கும் சொற்றொடர்கள், இடத்திற் கேற்ற ஒரு சொல்லின் மாறுபட்ட பொருள்கள் என்பனவற்றின் பரந்த தெளிந்த அறிவே ஒருவரை ஒரு துறையில் வல்லுநராகக் காட்டும் குறியீடாகும். அத்தகைய பரந்த அறிவு பெற்றவரிடமே சிந்தனை செழிக்கும், புதிய கண்டுபிடிப்பு விரைவிலும் எளிதிலும் வெளிவரும். இது எல்லா மொழிகளுக்கும் பொதுவான நிலை.

தமிழ்மொழியில் அறிவியல் இலக்கியம் என்பது அறிஞர்களை உருவாக்கும் தன்மைக்கு இன்னும் உயரவில்லை. பாடநூல்களைத் தவிர வேறு கூறுகள் குறிப்பிடத்தக்க அளவில் வளரவில்லை. கலைச்சொல் தொகுப்புப் பேச்சிலேயே நீண்ட காலம் கடந்துவிட்டது. பொருள்விளக்கக் களஞ்சியங்கள் துறை வல்லுநர்களால் இதுவரை படைக்கப்படவில்லை என்றே கூறலாம். இந்தக் கலைக்களஞ்சியங்கள்தாம் வகுப்பறையில் தெளிவுபெற முடியாத மாணவர்களின் புகலிடம்; கற்றவர் தம் சந்தேகங்களுக்கு விளக்கம்பெறும் இடம்.

தமிழக அறிவியலாளர்கள் உலக அரங்கில் தங்களை வெகுவாக அடையாளம் காட்டிப் பெருமை சேர்த்திருக்கிறார்கள், சேர்த்துக் கொண்டிருக்கிறார்கள். அவர்களுக்கு ஆங்கிலம் துணைநிற்கிறது. தமிழுக்கு அவர்களின் துணையில்லை. இந்த ஒரே காரணத்தால்தான் தமிழில் அறிவியல் இலக்கியம் தழைக்கவில்லை. தமிழில் காலூன்றிவிட்டால் உலக அரங்கிலிருந்து ஒதுக்கப்பட்டு விடுவோம் என்ற அச்சமே அதற்குக் காரணம்.

ஓர் உண்மையை மனம் திறந்து ஏற்கவேண்டும். வகுப்பறைக்கு மட்டும் தனிமொழி என்றால், அது கற்பவரின் சிந்தனை வளர்ச்சிக்குத் தடையாகவே அமையும் என்பதுதான் அந்த உண்மை. எண்பது விழுக்காட்டு நேரம் பேசிக்கொண்டிருப்பது ஒருமொழி, இருபது விழுக்காட்டு நேரம் கற்பது ஒருமொழி என்கின்ற நிலை, பேசும்மொழியின் பயன் வகுப்பறைக்கு உதவிசெய்யவில்லை என்ற உண்மையின் அழுத்தமாகும். வகுப்பறை ஆங்கிலம் முழுச் சமூகத்தையும் தழுவிக்கொள்ள முடியாதென்ற நிலையில், சமூகமொழியை வகுப்பறைக்குக் கொண்டுவருவதுதான் அந்தச் சமூக முன்னேற்றத்திற்கு ஏற்ற செயலாகும். அந்தச் செயலின் முதல்முயற்சியே அறிவியல் தமிழ் இலக்கிய ஆக்கம். அந்த இலக்கியத்தின் அடிப்படைக் கூறாக இந்தக் களஞ்சிய நூல் உருப்பெற்றுள்ளது.

பாரதிதாசன் பல்கலைக்கழகத்தில் துணைவேந்தர் டாக்டர் ச. முத்துக்குமரன் தமிழில் அறிவியல் பாடநூல்களை எழுதுவதற்கு ஊக்கம் அளித்தார். கலந்துரையாடலில் நல்ல அறிவியல் கலைக்களஞ்சியங்களையும் தமிழில் படைக்க வேண்டுமென்று முடிவு செய்யப்பட்டது. முதலில் இயல்பியலில் எழுதப்படவேண்டும் என்றும் அப்பொறுப்பை நான் ஏற்றுக்கொள்ளவேண்டும் என்றும் துணைவேந்தர் விரும்பினார். பல ஆசிரியர்களின் துணைகொண்டு படைப்பது நலமென்றும் கூறினார். பணியின் சுமையறிந்தும், பலரிடம் வேலைவாங்குவது கடினம் என்பதை உணர்ந்தும் மறுத்துவிட்டேன். ஓராண்டுக்குமேல் பணி தடைப்பட்டு நின்றது. மீண்டும் நான் அழைக்கப்பட்டபோது முழுமனமில்லாமல் ஒப்புக்கொண்டேன். ஒரு சிறிய குழுவைக்கூட்டி எப்படிப் பணியைத் தொடங்குவது என்று ஆலோசித்தோம். களஞ்சியம் கல்லூரியில் தமிழில் இயல்பியல் கற்கும் மாணவர்களின் கையேடாக இளநிலை, முதுநிலைப் பட்ட வகுப்புகளின் பாடங்களை ஒட்டியிருக்க வேண்டுமென்று முடிவுசெய்யப்பட்டது.

இயல்பியலைப் பதினொரு பிரிவுகளாகப் பிரித்துக் கொண்டு, ஒவ்வொரு பிரிவுக்குமான வல்லுநர் சிலரின் துணை கொண்டு நூறு தலைப்புகள் என ஆயிரத்து நூறு தலைப்புகள் தெரிவு செய்யப்பெற்றன. தமிழகம் முழுவதும் பல்கலைக்கழகங்களிலும் ஆய்வு நிறுவனங்களிலும் கல்லூரிகளிலும் பணிபுரியும் நூறு இயல்பியல் வல்லுநர்களுக்கு ஒருவருக்குப் பத்துத் தலைப்பு என்றபடி எழுதக் கேட்டுக் கொண்டேன். மாதிரிப்படைப்புகள் கொடுத்து அவற்றைப் போன்று எழுதுமாறு கேட்டுக் கொண்டேன். சிறந்த வல்லுநர்கள் என்று அழைக்கப்பட்ட பலரும் மறுத்துவிட்டனர். அதிலும் சிலர் பதில் எழுதவும் மனம்கொள்ளவில்லை. "வீண் வேலை" என்றவர்களும் உண்டு. பாடநூல்கள் படைத்திருந்த சிலா "பலரில் நாம் ஒருவரா" என்று ஒதுங்கிக் கொண்டார்கள். என் வேண்டுகோளை மறுக்க முடியாத, ஆய்வில் பெயர்பெற்ற சிலரும், ஆர்வம் கொண்ட பல கல்லூரி ஆசிரியர்களும் ஒப்புக்கொண்டு எழுதிக் கொடுத்தார்கள்.

படைப்புகள் கிடைக்கத் தொடங்கிய பிறகு வேதனை கூடியது. பலரும் வரையறைகளை மறந்துவிட்டிருந்தனர். சிறந்த ஆய்வாளர்கள் பொருளில் தவறில்லாமல், ஆனால் தமிழில் தவற்றுடனும், மற்றவர்களில் பலர் நல்ல தமிழில் ஆனால் விளக்கம் போதாமல் அல்லது குறையுடன் படைத்திருந்தனர். பலரிடம் படைப்புகளை இரண்டுமுறை திருப்பி அனுப்பித் திருத்தம் செய்ய வைத்தேன். பிறகு ஒவ்வொரு படைப்பையும் வேறு ஒரு வல்லுநரிடம் அனுப்பிப் பொருள் விளக்கங்களைச் சீர்படுத்தி, அனைத்துப் படைப்புகளையும் அண்ணா பல்கலைக்கழகப் பேராசியர் எஸ். நடராசனை மதிப்பீடு செய்யக் கேட்டுக் கொண்டேன். தன்துறை நண்பர்களின் துணைகொண்டு பல திருத்தங்களைச் செய்து அவர் உதவினார். பின்னர், பாரதிதாசன் பல்கலைக்கழக இயல்பியல் துறை நண்பர் எம். டேனியலும், அப்துல் ஹக்கீம் கல்லூரி ஆசிரியர் மூ. நா. சீனிவாசனும் நுணுக்கமாகப் படித்துச் சமன்பாடுகளையும் படங்களையும் பட்டியல்களையும் சீர்மை செய்தனர். இறுதியாக பேராசிரியர் வி. தேவநாதன் படித்துக் கருத்துத் தெரிவித்து உதவினார்.

பெரும்பாலான படைப்புகளில் தமிழ்நடையை நான் செப்பனிட்டிருக்கிறேன். பொருள் தெளிவு கருதி, சொற்சேர்க்கை, பிரிப்பு, சந்தியில் ஏற்றுநீக்கம் செய்துள்ளேன் (எ.கா. இயல்பியல், எதிர்திசை). கலைச்சொற்கள், அறிவியலறிஞர்கள் பெயர்கள், முதன்முறையாக வரும்போது ஆங்கிலத்திலும் கொடுத்துள்ளேன். தமிழ்ச்சொற்கள் மனநிறைவு தராதபோது மூலச்சொல்லின் தமிழ் உச்சரிப்பிலேயே தந்துள்ளேன். தமிழ்ப் பேராசிரியர்கள் வ. ஜெயதேவனும் சிற்பி பாலசுப்பிரமணியனும் தொகுப்பைப் படித்துப்பார்த்தும் கலைச்சொற் பட்டியலைத் தொகுத்தும் உதவிசெய்தார்கள். திரு வெ. அருள் பிரசாத், திரு கு. காமு, திரு இரா. தேவராசன் ஆகியோர் நூலைக் கணிப்பொறியில் ஏற்றினாாகள். நண்பர் திரு கனக சுநதரம் வரைபடங்கள் வரைந்தார்.

ஆறு திங்கள்களில் முடிக்கவேண்டுமென்று தொடங்கிய பணி நான்கு ஆண்டுகளில் முடிந்தது. ஆயிரத்து நூறு தலைப்புகள் என்று தொடங்கி 642 தலைப்புகளையே தொகுக்க முடிந்தது. வல்லுநர்களிடம் அறிவியல் தமிழுக்குப் பற்று இவ்வளவுதான் என்று அறிய மனம் வருந்துகிறது. ஒரு சிறந்த அறிவியல் இலக்கியம் இத்தனை இடர்ப்பாடுகளையும் தாண்டிப் பிறந்துவிட்டது என்று உணர அதே மனத்தின் ஆழத்தில் இப்போது மகிழ்ச்சி. தமிழில் மட்டுமல்ல, ஆங்கிலத்தில் பயிலும் தமிழ்மாணவச் செல்வங்களுக்கும், ஆசிரியர்களுக்கும் அறிவியலார்வம் கொண்ட எத்துறையினருககும் இந்நூல் துணைவன்தான்.

முழுமனமின்றித் தொடங்கி, முழுமனதுடன் இப்படி ஒரு பணி முடிந்ததை முதன்முதலாக என வாழ்க்கையில் பெற்ற மகிழச்சியில், பெருமிதத்தில், இக் களஞ்சியத்தோடு தொடர்புகொண்ட அனைத்து நண்பர்களுக்கும் நன்றி தெரிவித்துக் கொள்கிறேன்.

சென்னை - 600 005
05 - 07 - 1997

ப க பொன்னுசாமி
முதன்மைத் தொகுப்பாசிரியர்

அணிந்துரை

மாண்புமிகு பேராசிரியர் க அன்பழகன்

தமிழ்நாடு கல்வி அமைச்சர்

இந்தியத் துணைக் கண்டத்தில் பன்னிரு வெவ்வேறு மொழிக்குடும்பங்களைச் சார்ந்த 325 மொழிகள் பேசப்படுகின்றன என்றும், இந்திய மொழிகள் வெவ்வேறு 24 வரிவடிவங்களில் எழுதப்படுகின்றன என்றும் இந்திய மானிடவியல் கணக்கெடுப்பு ஒன்று தெரிவிக்கிறது. இந்திய மொழிகளுள் எந்த மொழிக்கும் இல்லாத சிறப்புகள் பலவற்றைத் தமிழ் மொழி தன்னகத்தே கொண்டு திகழ்கிறது.

தமிழ் ஓர் உயர்தனிச் செம்மொழி; உலகின் பல நாடுகளில் வழங்கும் மொழி; அயல்நாடுகள் சிலவற்றின் அரசமைப்புச் சட்டப்படி ஏற்கப்பட்டுள்ள ஆட்சிமொழி; அயல்நாட்டு அறிஞர் பலர் வியந்து போற்றிய தனித்து நிற்கும் தகுதி வாய்ந்த மொழி.

ஈராயிரம் ஆண்டுகட்கும் மேலாக இடையறாப் பேச்சு வழக்கும், செய்யுள் (இலக்கியம்) வழக்கும் உடையதாய் இலங்கும் மொழி; இந்தியாவில் முதன்முதலாக அச்சு இயற்றப்பட்ட நூலைக் கொண்ட மொழி; பேரகராதியை முதன்முதல் பதிப்பித்த இந்திய மொழி; இந்திய மொழிகளுள் கலைக்களஞ்சியத்தை முதன் முதலில் வெளியிட்ட மொழி. இத்தகைய தொன்மைச் சிறப்பும், வழங்கும் ஆற்றலும், வளரும் கூறுகளும் வாய்ந்த தமிழ் மொழி, இன்று முழுமையான ஆட்சி மொழியாக, பயிற்சி மொழியாக, வழிபாட்டு மொழியாக, சட்ட விளக்க மொழியாக, அறிவியல் மொழியாக, தொழில் நுட்ப அறிவுத்திறன் நல்கும் மொழியாக விளங்குகிறதா என்று எண்ணிப்பார்க்கையில் ஏமாற்றமே விளைகிறது.

அறிவியல், சட்டம் முதலான துறைகளில் அறிவு பெற ஆங்கிலமே ஏற்றமொழி எனவும், ஆங்கிலத்தில் படித்தால்தான் வேலை கிடைக்கக்கூடிய வெளி மாநிலங்களிலும் அயல் நாடுகளிலும் வேலை பார்க்க முடியும் எனவும் ஒரு தவறான கருத்து நிலவுகிறது. முன்னேறிய நாடுகள் பலவற்றின் பொருளியல் வளர்ச்சிக்குத் தாய்மொழிவழிக் கல்வியே காரணம் என்பது மெய்ப்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

இன்று மேல்நிலை அறிவியலில் தாய்மொழி வழிக் கல்வி நடைமுறைப் படுத்தாமையின் காரணமாக நாட்டு மக்களின் அறிவியல் சார்ந்த சிந்தனை வளர்ச்சியில் ஏற்படும் பின்னடைவு, தாய்மொழிவழிக் கல்வியால் மாற்றப்படும் போது, தொழில் வளர்ச்சி பெருகிடும் நிலையால், இன்று வெளி மாநிலத்தில் பெறக்கூடிய வேலைவாய்ப்பினும் மிகுதியான அளவில் நம் மாநிலத்திலேயே வேலைவாய்ப்பைத் தோற்றுவிக்க முடியும்.

தொழில் பெருகி, வேலைவாய்ப்பும் பெருகி, தொழில்நுட்ப அறிவுத்திறனும் நம் நாட்டுக்கே பயன்பட்டு மேலும் தொழில் வளர்ச்சியையும் வணிகப் பெருக்கத்தையும் ஏற்படுத்தும்போது, தாய்மொழிவழிக் கல்வி தாய்மொழியை வளப்படுத்துவதினும் மிகுதியாகத் தாய்நாட்டை வளப்படுத்தும் என்னும் உண்மையைத் தெளிய வேண்டும். ஆங்கிலத்தில் படித்து வெளிநாட்டையோ, பிற மாநிலத்தையோ எதிர்நோக்கிடும் வாழ்வு இன்னும் எவ்வளவு காலம் வரை நீடிக்கும் என்று கூற முடியுமா? அங்குச் சென்று வாழ்வோர்தாம் அங்கேயே நிலைத்திட முடியுமா? ஆங்காங்குள்ள மக்கள் அறிவு வளர்ச்சி பெறும் காலம் வரும்போது, அவரவரும் பிறந்த மாநிலத்திற்குத் திருப்பி வர நேரும் என்பதை மறக்கக்கூடுமோ? எனவேதான், அவரவர் சார்ந்துள்ள மக்களின் அறிவுத்திறன் வளர்ச்சிக்குத் துணையாகும் தாய்மொழிவழிக் கல்வியே, சமுதாய முன்னேற்றத்துக்கு நிலையான அடிப்படை என்பதைத் தெளிந்திட வேண்டும். அதற்கேற்பச் சமூக

மனப்பாங்கும் பெற்றோர், மாணவர், ஆசிரியர், எழுத்தாளர், அரசியல் தலைவர் ஆகியோரின் மனப்பாங்கும் மாற வேண்டும். தமிழ் வளர்ந்தால் தமிழர் நிலை உயரும்; தமிழ் வழிப் பயிற்சியால் தமிழர்தம் தொழில் வளரும். துறைதோறும் தமிழ்மொழிப் பயன்பாட்டால், தமிழர்தம் தொழில் வளமும் பெருகும் என்னும் உண்மையை அனைவரும் தெளிந்திடும் வழிகாண்பது நம் கடமையே!

அறிவுத்துறைகள் அனைத்தும் பள்ளி, கல்லூரி, பல்கலைக்கழகம் என்னும் அனைத்து நிலைகளிலும், தமிழ்மொழி வாயிலாகக் கற்பிக்கப்படவேண்டும் என்பது தமிழக அரசின் நிலைப்பாடு. இந்த நிலைப்பாட்டுக்கு ஏற்பவும் தமிழ்வழிக் கல்விக்கு இன்றியமையா அறிவியல் பாட நூல்களைத் தமிழில் கொணர்வதற்காகத் தமிழ்நாட்டுப் பல்கலைக்கழகங்கள் ஒவ்வொன்றிற்கும் தமிழக அரசு தனி நிதியுதவி அளித்துள்ளது. இந்த நிதியுதவியால் உருவாக்கப்பட்டுள்ள அறிவியல் தமிழ் நூல்கள் விரைவில் வெளியிடப்படும்.

ஒரு மொழியின் பயன்பாட்டுப் பெருமை அம் மொழியில் தோன்றியுள்ள தரமான அகராதிகள், கலைக்களஞ்சியங்கள் போன்ற நோக்குநூல்களின் பெருக்கத்தைப் பொருத்து மதிப்பிடப்படும். மொழிப் பயன்பாட்டினை விரிவாக்குதல் மொழி வளர்ச்சியில் இன்றியமையாததும் முதன்மையானதுமான ஒரு கூறாகும். துறைதோறும் மொழிப் பயன்பாட்டினை மிகுதிப்படுத்தலும் செம்மைப்படுத்தலும் மொழி வளர்ச்சிக்குரிய அடிப்படைப் பணிகளாகும். இந்த அடிப்படைப் பணிகளுக்குப் பெரிதும் உதவுவன நோக்குநூல்களாகும். அகராதி, சொல்லுக்குரிய பொருளை மட்டும் தருவது. கலைக்களஞ்சியம், சொற்பொருளுடன் அச்சொல்லால் சுட்டப்படும் பொருள் பற்றிய விரிவான தகவல்களையும் தருவது. ஒவ்வொரு துறைக்கும் உரிய அகராதிகளும் கலைக்களஞ்சியங்களும் அவ்வத் துறையில் மொழியினைச் செம்மையாகப் பயன்படுத்துவதற்கு உதவி, மொழி வளர்ச்சிக்கும் உரமூட்டுகின்றன. மேலும் அவ்வத் துறையறிவு படிப்பாரிடையே வளரவும் துணைசெய்கின்றன. தோட்டக்கலை, தையற்கலை முதலியவற்றுக்குக்கூடத் தரமிக்க அகராதிகளும கலைககளஞ்சியங்களும் ஆங்கிலத்தில் வெளிவந்துள்ளன. தமிழில் அந்த அளவிற்குக் கலைக்களஞ்சியங்கள் இதுகாறும் வெளிவரவில்லை. இது தமிழர்களின் குறையேயன்றித் தமிழின் குறையன்று.

இந்தக் குறையைப் போக்குதற்கு மேற்கொண்ட நன்முயற்சியின் விளைவாகச் சென்னைப் பல்கலைக்கழகத்தின் துணைவேந்தர் பேராசிரியர் டாக்டர் ப க பொன்னுசாமி அவர்கள் இந்த அருமையான இயல்பியல் களஞ்சியத்தைத் தொகுத்துத் தமிழ்கூறு நல்லுலகில் உலவ விட்டிருப்பதை உளமகிழ்ச்சியுடன் வரவேற்கிறேன்.

இயல்பியலின் அனைத்து முதன்மை மற்றும் கிளைத்துறைகளிலும் இருந்து நுட்பமாகத் தெரிவு செய்யப்பட்ட 642 கருத்துப் பொருள்கள் இக்களஞ்சியத்தில் விளக்கம் பெற்றுள்ளன. தக்க அறிஞர்களைக் கொண்டு அப்பொருள் ஒவ்வொன்றையும் விளக்குவதற்குரிய தகவல்களை விரிவாகவும் முழுமையாகவும் தரும் சிறிய கட்டுரைகளாக வடித்து, அவற்றைக் குறிப்பு நோக்கீட்டுக்கு உதவும் வகையில் அகரநிரலில் அமைத்து இக் களஞ்சியத்தைப் பயன்மிக்கதாகப் படைத்துள்ளார் தொகுப்பாசிரியர். இக்களஞ்சியத்தின் பதிவுகளில் ஏற்ற இடங்களில் அறிவியல் நிகழ்வுகள், சோதனைகள், கண்டுபிடிப்புகள் ஆகியவற்றின் வரலாறுகளும் குறிப்பிடப்பட்டுள்ளன. தெளிவான கருத்து விளக்கத்திற்குத் துணைபுரியும் வகையில் தேவையான விளக்கப் படங்களைத் தக்க இடங்களில் தந்துள்ளமை இக்களஞ்சியத்தின் தனிச்சிறப்பாகும்.

அறிவியல் தமிழில் பெரிதும் விவாதிக்கப்படும் சிக்கல், கலைச்சொல் பயன்பாடு ஆகும். இந்நூலில் இயன்ற இடங்களில் பொருத்தமான புதிய தமிழ்க் கலைச் சொற்கள் படைத்துப் பயன்படுத்தப் பட்டுள்ளன. உரிய இடங்களில் பழந் தமிழ்ச் சொற்களுக்குப் புதிய

அறிவியல் பொருண்மை தரப்பட்டுள்ளது. தவிர்க்க இயலா இடங்களில் மட்டும் கலைச்சொற்கள் ஒலிபெயர்த்து வழங்கப்பட்டுள்ளன. இம்முறைகள் கலைச்சொல் பயன்பாட்டு நெறிமுறைகளாக ஏற்கப்பட்டுள்ளன.

அரிய அறிவியல் கருத்துகளை எளிய இனிய நடையில் இக்களஞ்சியம் எடுத்தியம்புவதன் வாயிலாக இதன் படிப்பினிமை மிகுகிறது. தமிழுக்கும் இயல்பியலுக்கும் ஒரு புதிய பாலமாகத் திகழும் இந்நூல் ஏனைய அறிவியல் துறைகளுக்கும் தமிழுக்கும் இடையே பாலங்கள் பல தோன்றுவதற்குத் தூண்டுகோலாகவும் முன்மாதிரியாகவும் விளங்கி, அறிவியலால் தமிழும் தமிழால் அறிவியலும் ஒருங்கே தழைத்திட உதவும் என நம்புகின்றேன். இந்நூலின் கட்டுரையாசிரியர்களுக்கும் தொகுப்பாசிரியருக்கும் அவர்கள் ஆற்றியுள்ள தமிழ் ஆக்கப்பணிக்காக எனது வாழ்த்தையும் பாராட்டையும் தெரிவித்துக்கொள்கின்றேன்.

வளரும் அறிவியல் துறை மாணவர்கள் இப்படிப்பட்டக் களஞ்சியத்தைப் பயன்படுத்துவதைப் பழக்கமாகக் கொள்வதன் மூலம் அறிவியல் கருத்துப் பொருள்களில் தெளிவடைந்து அவற்றைத் தமிழில் பயன்படுத்தும் திறன் பெற்றவர்களாக வேண்டும் என்பதே என் வேண்டுகோளாம்.

சென்னை 600 009

15 - 07 - 1997

க. அன்பழகன்

தமிழ்நாடு கல்வி அமைச்சர்

பண்டைய எந்திரவியல்

Classical Mechanics

1 அட்வுட் எந்திரம் (Atwood's machine)

இது ஒரு வரையறையோடு (constraint) கூடிய இயக்கத்திற்கு எடுத்துக்காட்டாகும். இவ்வியந்திரம், ஒரு நிலைக் கப்பியையும்,l அளவு நீளமுள்ள முறுக்கற்ற கயிற்றையும், M_1, M_2 என்ற இரு எடைகளையும் கொண்டது. படத்தில் காட்டியபடி, கயிறு, கப்பிவழியே சென்று, இரு எடைகளையும் இணைக்கின்றது. இந்நிலையில்,

அமைப்பின் இயங்கு ஆற்றல்

$$= \frac{1}{2} M_1 \dot{x}^2 + \frac{1}{2} M_2 \dot{x}^2$$

அமைப்பின் நிலை ஆற்றல்

$$= - M_1 gx - M_2 g(l - x); \text{ (l மாறாதது)}$$

(ஆதாரக்கோட்டிற்குக் கீழே எடைகள் இருப்பதால்).

எனவே, லக்ரான்ஜியன்,

$$L = \frac{1}{2}M_1\dot{x}^2 + \frac{1}{2}M_2\dot{x}^2 + M_1gx + M_2g(l-x)$$

இதன் வழியே,

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}}\right) - \frac{\partial L}{\partial x} = 0, \text{ என்பதால்}$$

$$\ddot{x} = \left(\frac{M_1 - M_2}{M_1 + M_2}\right) g$$

என்ற சமன்பாடு கிடைக்கிறது. தொடக்க நிலை மதிப்புகள் வழங்கப்படின் X-இன் தீர்வு காண இயலும். கயிற்றில் இழுப்புவிசை (tension) இருந்த போதிலும், அதன் நீளம் மாறவில்லை என்று இருந்த போதிலும், அவை X-இன் சமன்பாட்டில் தோன்றவில்லை என்பதை அறிக.

2 அடைவுறு வரையறை (Holonomic constraint)

சில வரையறைகளுக்கு உட்பட்டு ஒரு பொருள் இயங்குமானால் அதன் இயக்கத்தை வரையுறு இயக்கம் என்கிறோம். எ.கா. 1) ஒரு தனி ஊசல் அலைவுறும்போது தொங்கு தானத்திலிருந்து குண்டின் தூரம் மாறாமல் இருப்பது ஒரு வரையறையாகும். இந்த வரையறை $x^2 + y^2 = l^2$ என்ற சமன்பாட்டில் அடைவுறும். x, y என்பன குண்டின் ஆயக்கூறுகள்; l என்பது ஊசலின் நீளம். 2) r ஆரமுள்ள வட்டவளையத்தில் கோக்கப்பட்டுள்ள பாசி-மணி $x^2 + y^2 = r^2$ என்ற வரையறைக்கு உட்பட்டு இயங்கும். 3) r ஆரமுள்ள ஓர் உள்ளீடற்ற கோளத்துள் அடைபட்ட வாயு மூலக்கூறுகளின் இயக்கம், கோளமையத்தில் இருந்து ஒரு மூலக்கூறின் தொலைவு $d \leq r$ என்ற வரையறைக்கு உட்படுகிறது.

எந்த ஒரு வரையறை, $f(r_1, r_2, r_3, ..., r_n, t) = 0$ என்ற பொதுவான சமன்பாட்டில் அடைவு பெறுகிறதோ அந்த வரையறை அடைவுறு வரையறை எனப்படும். 3N உரிமைப்படிகள் கொண்ட ஒரு தொகுப்பு, K அடைவுறு வரையறைகளுக்கு உட்பட்டு இயங்குமானால், அத்தொகுப்பை முழுமையாக விவரிக்க 3N-K விடுநிலைகள்

போதுமானது. அதாவது, ஒரு தொகுப்பு அடைவுறு வரையறைகளுக்கு உட்படும்போது அதனுடைய விடுநிலைகள், வரையறைகளின் எண்ணிக்கை(K) அளவு குறைவடைகிறது.

அடைவுறா வரையறை (Non - holonomic constraint)

ஒரு வரையறை, $f(r_1, r_2, r_3, \ldots, r_n, t) = 0$ என்ற பொதுவான சமன்பாட்டில் அடைவு பெறாதபோது அது அடைவுறா வரையறை எனப்படுகிறது. உள்ளீடற்ற கோளத்துள் அடைபட்ட வாயுமூலக்கூறின் தொலைவு கோளமையத்தில் இருந்து d எனக் கொண்டால் $d \leq r$ என்ற வரையறை ஒரு சமன்பாட்டில் அடைவு பெறுவதில்லை. எனவே, இது ஓர் அடைவுறா வரையறையாகும்.

3 ஆற்றல் சமபங்கீடு (Equipartition of energy)

ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் ஒரு மூலக்கூறுக்கு உரிய சராசரி இயக்க ஆற்றலின் மதிப்பு (1/2)kT ஆகும். இங்கு k போல்ட்ஸ்மன் மாறிலியையும், T தனிச்சுழி வெப்பநிலையையும் குறிக்கும். இதுவே ஆற்றல் சமபங்கீட்டு விதியாகும். ஓர் உரிமைப்படி மதிப்புக்கு மட்டும் உரிய சராசரி ஆற்றல் (1/2)kT ஆகும். ஓரணு வாயுவில் ஓரணுவிற்கு மூன்று உரிமைப்படிகள் உண்டு. எனவே ஓர் அணுவின் மொத்த ஆற்றல் (3/2) kT ஆகும். q மூலக்கூறு ஒன்றின் ஆயத்தையும், p அதன் உந்தத்தினையும், m அதன் நிறையையும் குறித்தால், சீரிசை அலையியற்றியாகிய மூலக்கூறு ஒன்றின் மொத்த ஆற்றலைக் கீழ்க்கண்ட தொடர்பால் பெற முடியும்:

$$E = \frac{p^2}{2m} + \frac{1}{2} f q^2.$$

இங்கு f விசை மாறிலியாகும். வலப்புறம் உள்ள முதல் உறுப்பு அதிர்வு இயக்க ஆற்றலையும், இரண்டாம் உறுப்பு நிலையாற்றலையும் குறிக்கும். n-அணுக்கள் கொண்ட நேரற்ற மூலக்கூறு ஒன்றிற்கு இடப்பெயர்வு ஆற்றலின் மூன்று உரிமைப்படிகளும், சுழற்சி ஆற்றலின் மூன்று உரிமைப்படிகளும், அதிர்வு ஆற்றலின் (3n-3)kT ஆகும். இக்கோவை ஆற்றல் சமபங்கீட்டு விதியின் அடிப்படையில் பெறப்பட்டதாகும்.

4 இசை/இசையிலி அலையியற்றி (Harmonic/Anharmonic oscillator)

ஒரு துகள்மீது ஒரு விசை தாக்கும்போது அவ்விசையானது துகள் நகரும் தொலைவிற்கு நேர்தகவிலும், ஆனால் எதிர்திசையிலும் இருக்கும். அதாவது, $\vec{F} \alpha -\vec{x}$.

ஒற்றைப் பரிமாணமுள்ள அலைவை எடுத்துக் கொண்டால், $F \alpha - x$.

அத்துகளுக்கு ஓர் அலைவு ஏற்படும். நியூட்டன் விதிப்படி $F = m\frac{d^2x}{dt^2}$. எனவே,

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \left(\frac{k}{m}\right)x = 0$$

என்ற சமன்பாடும் கிடைக்கும். இது இசை அலையியற்றியின் இயக்கத்தை விளக்கும். இதில் k ஒரு மாறிலி. இப்பொழுது மாறாக அவ்விசை தொலைவின் மடங்கையும் பொருத்து இருப்பின், எடுத்துக்காட்டாக, $F \alpha - (x + x^2 + x^3)$,

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \left(\frac{k}{m}\right)x + ax^2 + bx^3 = 0$$

என்ற சமன்பாடு கிடைக்கும். இது, இசையிலி அலையியற்றியின் இயக்கத்தை விளக்கும்.

5 இயக்க மாறிலிகள் (Constants of motion)

இயக்கத்தின் பொதுவான சமன்பாட்டிலிருந்து மாற்றப்பட்ட ஹெமில்டோனியனுக்கு

$$\delta H = -\varepsilon \frac{dG}{dt}$$

என்ற சமன்பாட்டைப் பெறலாம். இதில் G என்பது இயக்க மாறிலி. இது ஹெமில்டோனியன் மதிப்பை மாற்றாமல் மீநுண் நியமநிலை மாற்றத்தை (infinitesimal canonical transformation) உண்டாக்குகிறது. அதாவது, இயக்க மாறிலிகள், மாற்றமிலா ஹெமில்டோனியனை, மீநுண் நியமநிலை மாற்றத்தின் மூலம் உருவாக்குகின்றன. இதிலிருந்து தொகுதியின் சமச்சீர்ப் பண்புக்கும் காப்பு அளவுக்கும் உள்ள தொடர்பு புலனாகிறது. ஆகவே இயக்க மாறிலி, நேரத்தைச் சார்ந்து இருக்காது. நிலை மாற்றத்தினால் ஹெமில்டன் மாற்றம் என்பது, ஒரு உருவமைப்பில் இருந்து மறு உருவமைப்புக்குத் தொகுதியை மாற்றும்போது ஏற்படும் ஹெமில்டனின் மாற்ற மதிப்பைக் குறிக்கிறது. உருவ அமைப்பு மாற்றத்தின்போது தொகுதி சமச்சீராக இருந்தால், ஹெமில்டன் அந்த மாற்றத்தில் மாறாமல் இருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு தொகுதியின் சுழல் சமச்சீர்மை(rotationalsymmetry) ஒரு குறிப்பிட்ட இயக்கத்தின் மாறிலியைக் குறிக்கிறது.

6 இயல்பு ஆயங்கள் (Normal co-ordinates)

பல விடுநிலைகளைக் கொண்ட ஓர் அமைப்பின் பகுதிகள், தத்தம் உறுதிச் சமநிலைகளிலிருந்து சற்றே விலகும்போது அவ்விலகல்களுக்கு எதிர்மறையாகவும், விலகல்களின் அளவுக்கு நேர்தகவாயும் ஏற்படும் மீட்பு விசைகளின் காரணமாகவும், ஆற்றலின் அழிவற்ற தன்மையினாலும் விளையும் சிறு அலைவியக்கங்கள் பொதுவில் சிக்கலானவை. அமைப்பின் n பொது ஆயங்களின் இயக்கங்கள்

$$\sum_{j=1}^{n}(m_{ij}\ddot{q}_j + V_{ij}q_j) = 0, \quad i = 1, 2, ..., n,.$$

$$m_{ij} = m_{ji}, \quad V_{ij} = V_{ji}$$

என்ற n சமன்பாடுகளுக்கு உட்பட்டிருக்கும். இதில் $\{q_1, q_2,...,q_n\}$ என்ற பொது ஆயங்கள் அவற்றின் உறுதிச் சமநிலை மதிப்புகளிலிருந்து விலகியிருக்கும் அளவுகளைக் குறிக்கின்றன. m_{ij}, V_{ij} என்பன மாறிலி கெழுக்கள். இச்சிக்கலான இயக்கங்களைப் பகுத்தாய்ந்தால் அவற்றை எளிமையான முறையில் பல இயல்பான தனிச்சீர் அலைவுகளின் நேர்சேர்க்கையாக அறிய முடியும். இதற்கு உதவுபவையே இயல்பு ஆயங்கள் $\{Q_1, Q_2, ..., Q_n\}$. இவை

$$q_i = \sum_{j=1}^{n} a_{ij} Q_j, \qquad i = 1, 2, ..., n$$

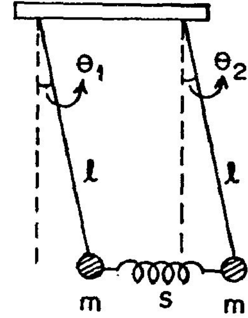
என்று இருக்கும். a_{ij} என்பன மாறிலி கெழுக்கள். மேற்கண்ட இயக்கச் சமன்பாடுகளை $(Q_1, Q_2, ..., Q_n)$ வழியாக எழுதினால்

$$\ddot{Q}_i + 4\pi^2 \nu_i^2 Q_i = 0, \qquad i = 1, 2, ..., n$$

என்று ஒன்றோடொன்று தொடர்பில்லாத n சமன்பாடுகள் கிடைக்கும். இங்கு $\{Q_1, Q_2, ... Q_n\}$ என்ற இயல்பியக்க ஆயங்கள் ஒவ்வொன்றும் தனித்தனியே $\{\nu_1, \nu_2, ..., \nu_n\}$ என்ற அலைவெண்களுடன் தனிச்சீர் இயக்கம் பெறக்காணலாம்.

7 இயல்பு இயக்கங்கள் (Normal modes)

பல விடுநிலைகளையுடைய ஓர் அமைப்பின் பகுதிகள் தத்தம் உறுதிச் சமநிலைகளிலிருந்து சற்றே விலகும்போது சிறு அலைவியக்கங்கள் உண்டாகும். இவை பொதுவாக, சிக்கலான இயக்கங்களாக இருக்கும். இருப்பினும், இயல்பியக்க ஆயங்களின் துணைகொண்டு இவ்வியக்கங்களை ஒன்றோடொன்று தொடர்பில்லாத தனிச்சீர் அலைவியக்கங்களின் சேர்க்கையாகப் பகுத்தறியலாம். இத்தகைய தொடர்பற்ற தனிச்சீர் அலைவியக்கங்களை அவ்வமைப்பின் இயல்பியக்கங்கள் என்றும் அவற்றிற்குரிய ஆயங்களை இயல்பு ஆயங்கள் என்றும் கூறுவர். எடுத்துக் காட்டாக, படத்தில் உள்ளது போல் ஒரே அளவு எடைகளை முனைகளில் கொண்ட, ஒரே நீளம் உள்ள இரு ஊசல்கள் s என்ற கம்பிச் சுருளால் இணைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். θ_1, θ_2 என்ற பொது ஆயங்களின் இயக்கச் சமன்பாடுகள்



$$\ddot{\theta}_1 + \left(\frac{g}{l}\right)\theta_1 + \left(\frac{k}{m}\right)(\theta_1 - \theta_2) = 0,$$

$$\ddot{\theta}_2 + \left(\frac{g}{l}\right)\theta_2 - \left(\frac{k}{m}\right)(\theta_1 - \theta_2) = 0$$

என்ற பிணைக்கப்பட்ட சமன்பாடுகளாக இருக்கின்றன. இங்கு m எடை; g புவியீர்ப்பு முடுக்கம்; l ஊசலின் நீளம்; k கம்பிச் சுருளின் மீட்புக் கெழு.

$$\varphi_1 = \frac{1}{2}(\theta_1 + \theta_2), \quad \varphi_2 = \frac{1}{2}(\theta_1 - \theta_2)$$

என்று வரையறுத்துக் கொண்டால், (φ_1, φ_2)–க்களின் இயக்கச் சமன்பாடுகள்

$$\ddot{\varphi}_1 + \sqrt{\left(\frac{g}{l}\right)}\varphi_1 = 0, \quad \ddot{\varphi}_2 + \sqrt{\left(\frac{g}{l} + \frac{2k}{m}\right)}\varphi_2 = 0$$

என்று ஒன்றோடொன்று தொடர்பின்றி இருக்கும். இதனால் φ_1, φ_2 ஆகியவை தனித்தனியே முறையே,

$$\nu_1 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}, \quad \nu_2 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\left(\frac{g}{l} + \frac{2k}{m}\right)}$$

என்ற அலைவெண்களுடைய தனிச்சீர் அலைவியக்கங்களாக இயங்கக் காணலாம். (φ_1, φ_2) இவ்வமைப்பின் இயல்பியக்க ஆயங்கள் என்றும் அவற்றின் தனித்தனி இயக்கங்கள் இயல்பியக்கங்கள் என்றும் கூறப்படும். இவற்றில் φ_1–இயல்பியக்கம் நடைபெறும்போது $\varphi_2 = 0$ என்றிருக்கும்; அதாவது $\theta_1 = \theta_2$ என்று இருக்கும். φ_2 இயல்பியக்கத்தின்போது $\varphi_1 = 0$ என்றிருக்கும். அதாவது θ_1, θ_2 இயக்கங்கள் ஒன்றுக்கொன்று எதிர்திசையிலும் ஒரே அளவிலும் இருக்கும். பொதுவாக, $\theta_1 = \varphi_1 + \varphi_2$, $\theta_2 = \varphi_1 - \varphi_2$ என்பதால், இவ்வமைப்பின் எந்த இயக்கத்தையும் (φ_1, φ_2)–இயல்பியக்கங்களின் நேர்சேர்க்கை என்று அறியலாம்.

8 **உள்ளிட ஆற்றல்** (Internal energy)

ஓர் அமைப்பில் எந்திர ஆற்றல் இருப்பதாக வெளிப்படையாகத் தெரியாத போதிலும், அந்த அமைப்பு செயலாற்றக் கூடியதாக இருக்குமானால் அதற்கு உள்ளிட ஆற்றல் இருப்பதாகக் கூறப்படுகிறது. ஒரு பொருளிலுள்ள மூலக்கூறுகள் ஓய்வின்றி இயங்கிக் கொண்டிருக்கின்றன. எனவே அவற்றுக்கு இயக்க ஆற்றல் உண்டு. அந்த இயக்க ஆற்றல் உள்ளிட இயக்க ஆற்றல் எனப்படும். மூலக்கூறுக்கிடையிலான ஈர்ப்பு விசைகளின் காரணமாக உண்டாகும் நிலையாற்றல் உள்ளிட நிலையாற்றல் எனப்படும். இந்த இரு வகை உள்ளிட ஆற்றல்களின் கூட்டுத்தொகை அமைப்பின் மொத்த உள்ளிட ஆற்றலாகும். அது அமைப்பின் நிலையை மட்டுமே பொறுத்தது. அமைப்பு வெப்ப மாற்றீடற்ற தன்மையில் ஒரு நிலையிலிருந்து இன்னொரு நிலைக்கு மாறும் போது உள்ளிட ஆற்றலில் ஏற்படும் மாற்றம், நிலை மாற்றத்தை உண்டாக்குவதற்காகச் செலவழிக்கப்பட்ட வெளியாற்றலுக்கு சமமாயிருக்கும். அமைப்பு ஒரு நிலையிலிருந்து இன்னொரு நிலைக்கு வெவ்வேறு வெப்ப மாற்றீடற்ற வழிகள் மூலம் மாறலாம். ஆயினும் அமைப்பு ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையிலிருந்து இன்னொரு குறிப்பிட்ட நிலைக்கு மாறும் போது, அது கடந்த வெப்பமாற்றீடற்ற வழிகள் எதுவானாலும், எத்தனையானாலும், உள்ளிட ஆற்றலில் ஏற்பட்ட மாற்றம் சமமாகவே இருக்கும், உள்ளிட ஆற்றலில் ஏற்படும் மாற்றம் துவக்க நிலையையும், இறுதி நிலையையும் மட்டுமே பொறுத்தது.

9 **ஐசிங் மாதிரி** (Ising model)

தற்சுழற்சி மாறிகளின் ஓர் அணிக் கோவையை வைத்து 1925–ஆம் ஆண்டில் ஏர்ன்ஸ்ட் ஐசிங் என்பவர் இந்த மாதிரியை உருவாக்கினார். இம்மாதிரியில் வரும் தற்சுழற்சி மாறிகளுக்குப் பின்வரும் தனிச் சிறப்பியல்புகளிருக்க வேண்டும். 1) ஒவ்வொரு தற்சுழற்சி மாறியும் +1 அல்லது -1 என்ற மதிப்பைப் பெரும். 2) ஒன்றுக்கொன்று மிக நெருக்கமாகவும் அடுத்தடுத்தும் உள்ள இரண்டு தற்சுழற்சி மாறிகள் மட்டுமே இடை வினையில் ஈடுபடும். இரட்டைப் பரிமாணத்தில் அமைந்த இந்த மாதிரிச் சித்திரத்தைப் பற்றிய ஆய்வுகள் கட்ட மாற்றங்கள் பற்றிய நவீனக் கொள்கைகளுக்கு அடிப்படையாக அமைந்துள்ளன. பொதுவாகக் கூட்டுறவு நிகழ்வுகளைப் பற்றிய கொள்கைகளுக்கும் இவை அடிப்படையாக அமைகின்றன.

இரட்டைப் பரிமாண ஐசிங் மாதிரிக்கு ஒரு கட்ட மாற்றம் உள்ளது. அந்தக் கட்ட மாற்றம் ஏற்படும் வெப்ப நிலை மாறுநிலை வெப்பநிலை அல்லது கியூரி வெப்ப நிலை எனப்படும். σ_a , σ_b என்ற, அடுத்தடுத்து நெருக்கமாக அமைந்த இரு தற்சுழற்சிகளின் ஒன்றுக்கொன்றான இடைவினை ஆற்றலை $-E(A,B)\,\sigma_a \sigma_b$ என எழுதலாம். σ_a , σ_b ஆகிய இரண்டும் +1 ஆகவோ -1 ஆகவோ இருக்கும்போது இடைவினை ஆற்றல் -E(A,B); அவற்றில் ஒன்று -1 ஆகவும் மற்றது +1 ஆகவும் இருக்கும்போது இடைவினை ஆற்றல் +E(A,B). அத்துடன் ஒரு தற்சுழற்சி – $H\sigma_a$ என்ற ஆற்றலைக் கொண்ட H என்ற ஒரு வெளிக்காந்தப்புலத்துடனும் இடைவினைகளிலிருந்து ஒரு சதுர அணிக்கோவைக்கான மொத்த இடைவினை ஆற்றலைப் பின்வருமாறு எழுதலாம்:

$$E = -\sum_{j}\sum_{k} [\, E_1 (j,k)\, \sigma_{j,k}\, \sigma_{j,k+1} + E_2(j,k)\, \sigma_{j,k}\, \sigma_{j+1,k} + H\, \sigma_{j,k} \,]$$

இதில் j என்பது அணிக்கோவையின் கிடைவரிசையையும் K என்பது குத்து வரிசையையும் குறிக்கும். இந்த வடிவத்தில் E_1(J,K), E_2(J,K) என்ற இடைவினை ஆற்றல்கள் அணிக்கோவை முழுவதிலும் தன்னிசையாக மாற அனுமதிக்கப்படுகின்றன.

10 ஐன்ஸ்டீன் சுருக்கம் (Einstein condensation)

வாயு ஒன்றில் உள்ள மூலக்கூறுகள் பல்வேறு ஆற்றல் நிலைகளில் இருக்கும். ஒவ்வொரு ஆற்றல் நிலையில் உள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையும் வெப்பநிலையைப் பொறுத்து மாறுபடும். அடிமட்ட நிலைக்கு மேல் இருக்கும் மட்டங்களில் உள்ள துகள்களின் பெரும எண்ணிக்கை கீழ்க்கண்ட சமன்பாடு மூலம் தரப்படும.

$$n' = n\left(\frac{T}{T_0}\right)^{3/2}$$

இங்கு T வெப்பநிலையையும, T_0 வாயு அடர்த்தியைப் பொறுத்த ஒரு வெப்பநிலையையும், n மொத்த மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையையும் குறிக்கும். $T<T_0$ என்ற சூழ்நிலையில் மட்டுமே இத்தொடர்பு பொருந்தும். எஞ்சியுள்ள துகள்களின் எண்ணிக்கை $= n\,[1 - T/T_0]^{3/2}$ ஆகும். $T=T_0$ என்ற நிலையில் இமமதிப்பு சுழியாகும். அதாவது, எலலாத் துகளகளுமே அடிமட்ட நிலைக்கு இறங்குகின்றன. உயர் ஆறறல் மட்டத்தில் உளள மூலககூறுகள் T_0 என்ற குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையில் அடிமட்டத்துக்கு இறங்கும். இந்நிகழ்வு போஸ்-ஐன்ஸ்டின் சுருககம எனப்படும். இச்சுருக்கம் நிகழும் வெப்ப நிலை T_0 வாயுவின் அடர்த்தி மதிப்பைச் சார்ந்தது. ஹீலியம் வாயுவின் T_0 வாயுவின் அடர்த்தி மதிப்பைச் சார்ந்தது. ஹீலியம் வாயுவின் T_0 மதிப்பு 3.14K ஆகும். திரவ ஹீலியம் 2.19K வெபபநிலைக்குக் கீழ் மீப்பாய்மப் பண்பை அடையும். இப்பண்பை அடைய ஐன்ஸ்டின் சுருககமே காரணமாகும். ஆற்றல் குறைதல் என்பதையே இங்கு சுருக்கம் என்கிறோம.

11 கட்ட வெளி (Phase space)

இயக்கவியலை விவரிக்க லக்ராஞ்சு வடிவமைப்பு, ஹெமில்ட்டன் வடிவமைப்பு என இரணடு முறைகள் உள்ளன. லக்ராஞ்சு வடிவமைப்பில் பொதுவான ஆயங்களும் (q_i, i = 1, 2, ...) அவற்றின் வேகங்களும் ($\dot{q}_i$ i = 1, 2, ...) அடிப்படையான மாறிகளாக எடுத்துக் கொள்ளப்படுகின்றன. ஓர் அமைப்புக்கு n விடுநிலைகள் இருப்பின் அவற்றைக் குறிக்கும் n ஆயங்கள் (q_i i = 1,2, ..., n) அமையும வெளியைத் தோற்றவெளி எனலாம். அமைப்பின் இயககம் லக்ராஞ்சியன் (L) எனப்படும் சார்பின் மூலம் ($L = L(q_1, q_2, q_3, ..., q_n; \dot{q}_1, \dot{q}_2, ..., \dot{q}_n, t)$), n இருபடிப பகுதி வகையீட்டுச் சமன்பாடுகளால் விவரிக்கப்படுகிறது. இதற்கு மாறாக, ஹெமில்டன் முறையில் n ஆயங்களையும் அவற்றிறகு இணையான உந்தங்களையும $\{p_i = (\partial L/\partial \dot{q}_i)\, i = 1, 2, ..., n\}$ அடிப்படையான ஒன்றோடொன்று தொடாபற்ற மாறிகளாகக கொண்டு ஹெமில்டனியன (H) என்ற சார்பின் மூலம் ($H = H(q_1, q_2, ..., q_n, p_1, p_2, ..., p_n; t)$), 2n ஒருபடிப பகுதி வகையீட்டுச் சமன்பாடுகளால் அமைப்பின் இயக்கம் விவரிக்கபபடுகிறது. (q_i, p_i) என்ற இணையை இணைமாறிகள் என்பர். n இணைமாறிகள் $\{q_1, q_2, ..., q_n; p_1, p_2, ..., p_n\}$ அமையும் 2n அலகுடைய வெளியே கடடவெளி எனப்படும். எநத ஓர் அமைப்புக்கும அதற்குரிய n இணைமாறிகளின் $\{q_1, q_2, ..., q_n; p_1, p_2, ..., p_n\}$ மதிப்புகளும ஒரு கணத்தில் கொடுக்கப்பட்டால் அவை அக்கணத்தில் அமைப்பின் இயக்க நிலையைக் குறிககின்றன. எந்த ஓர் அமைப்புக்கும் அதன் இயக்கப்பாதைகளை நிலைவெளியில் ஒன்றோடொன்று குறுக்கிடாத கோடுகளால் வரைய முடியும். இவ்வியககப பாதைகளை அறிய ஹெமில்ட்டனின் விதிமுறையான இயக்கச் சமனபாடுகளின் தீர்வுகள் உதவுகின்றன.

12 கட்டுறுதிப் பொருள் இயக்கம் (Rigid body motion)

ஒரு பொருளின் இயககத்தின்போது அப்பொருளின உடலில் உள்ள எந்த இரு துகள்களின் இடை வெளியும் மாறாதிருககுமானால் அப்பொருளைக் கட்டுறுதிப் பொருள் எனலாம. பொதுவாக ஒரு கட்டுறுதிப பொருளுககு 6 விடுநிலைகள் இருக்கும். இவற்றை அப்பொருளுககு வெளியே உளள ஒரு கார்டீசியன அசசுக்கோப்பு மறறும்

பொருளிடைப் பொதிந்த ஒரு கார்ட்டீசியன் அச்சுக்கோப்பு மூலம் தெரிவிக்கலாம். பொருளுக்கு வெளியே உள்ள அச்சுக்கோப்பைப் பொறுத்து, பொருளிடைப் பொதிந்த அச்சுக்கோப்பின் தொடக்கப் புள்ளியின் மூன்று ஆயங்களையும், மற்றும் அவ்வச்சுகளின் திசைகளையும் கொண்டு அப்பொருளின் நிலையைக் குறிப்பிடலாம். அப்பொருளின் கோட்டியக்கத்தை, பொருளிடைப் பொதிந்த அச்சுக்கோப்பின் தொடக்கப் புள்ளியின் மூன்று ஆயங்களின் காலமாறுபாட்டால் (வெளியேயுள்ள அச்சுக்கோப்பைப் பொறுத்து) குறிக்கலாம். கோட்டியக்கம் தவிர கட்டுறுதிப் பொருளின் இயக்கம் சுழலியக்கமாக இருக்கலாம். இச்சுழலியக்கத்தின் ஒருவகை, நிலையான அச்சைச் சுற்றும் சுழலியக்கம் ஆகும். இவ்வகை இயக்கத்தை

$$I\frac{d\omega}{dt} = M$$

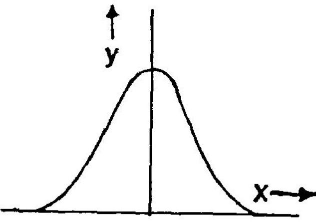
என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம். அதில் I என்பது அப்பொருளின் மடிமைத் திருப்புமையையும், ω கோண வேகத்தையும், M முறுக்க விசையையும் குறிக்கும். ஒரு கட்டுறுதிப் பொருளின் சுழலியக்கம், ஒரு நிலையான புள்ளியைப் பற்றியதாக இருக்கலாம். அப்பொழுது இயக்கச் சமன்பாடு

$$\vec{M} = \left(\frac{d\vec{L}}{dt}\right) + \vec{\omega} \times \vec{L}$$

என்று இருக்கும். இவை ஆயிலரின் இயக்கச் சமன்பாடுகள் எனப்படும்.

13 காஸியன் பங்கீடு (Gaussian distribution)

தொடர்ச்சியான நிகழ்தகவுப் பங்கீடு என்பது இயல்பான பங்கீடு அல்லது காஸியன் பங்கீடு எனப்படும். மேற்கொள்ளப்படும் முயற்சிகளின் எண்ணிக்கை மிக அதிகமாக மாறும்பொழுது ஈரியல் பங்கீடு (Binomial distribution) காஸியன் பங்கீடாக மாறும். இத்தகைய பங்கீட்டுக்குச் சில பண்புகள் உள்ளன; 1. சராசரி மதிப்புக்கு இருபுறமும் சமச்சீராக இப்பங்கீடு அமையும்; 2. இத்தகைய பங்கீட்டில் சராசரி மதிப்பு, பலமுறை திரும்ப வரும் மதிப்பு, மைய மதிப்பு ஆகியவை ஒன்றாக இருக்கும்; 3. இப்பங்கீட்டுக்கு வரையப்படும் வளைகோடு சராசரி மதிப்பின் போது பெருமப் புள்ளியைப் பெற்றிருக்கும்; 4. பயன்படுத்தப்படும் மாறி தொடர்ச்சியாக அமையும்; 5. வளைகோட்டின் பெரும உயரம் $1/(\sigma\sqrt{2\pi})$ என்ற மதிப்பைத் தரும். இங்கு σ–என்பது படித்தர விலகலைக் குறிக்கும்.



படத்தில் x-என்பது சராசரியில் இருந்து அமையும் விலகலையும், y-என்பது பங்கீட்டு நிகழ்தகவு மதிப்பையும் குறிக்கும். காஸியன் பங்கீடு சமச்சீராகப் பல்வேறு நிலைகளில் பங்கிடப் பட்ட துகள்களுக்கு மட்டும் பொருந்தும். நிகழ்தகவும் சமச்சீராக இருக்க வேண்டும்.

14 கிப்ஸ் நிலையாற்றல் (Gibbs potential)

G = U - TS + PV என்ற அடிப்படைச் சமன்பாட்டினால் வரையறுக்கப்படும் சார்பம், கிப்ஸ் நிலையாற்றல், கிப்ஸ் கட்டுறா ஆற்றல், கிப்ஸ் சார்பம் அழுத்தத்தில் வெப்பவியக்கவியல் நிலையாற்றல் என்ற பல பெயர்களில் குறிப்பிடப்படுகிறது. இதை வகைப்படுத்தினால்.

$$dG = dU - TdS - SdT + PdV + VdP$$
$$= dW - SdT + PdV + VdP$$

மாறிலா வெப்ப நிலையில் செயல் முறை நிகழும் போது $dT = 0$: அழுத்தம் மாறவில்லை எனில் $dP = 0$. அந்நிலையில்

$$dG = -(dW - PdV) = -dA$$

dA என்பது PdV என்ற அளவைத் தவிரக் கூடுதலாக செய்யப்பட்டிருக்கக் கூடிய வேலையின் அளவு. எனவே ஒரு வெப்பநிலை மாறாத, அழுத்தம் மாறாத, நேர்மாறாக்கத் தக்க செயல் முறையில் PdV என்ற அளவுக்குக் கூடுதலாகச் செய்யப்பட்ட வேலை, அமைப்பின் கிப்ஸ்வுக்குக் கூடுதலாகச் செய்யப்பட்ட வேலை, அமைப்பின் கிப்ஸ் நிலையாற்றலில் ஏற்பட்ட குறைவுக்குச் சமமாயிருக்கும். ஆனால் ஓர் இலட்சிய வளி வெப்ப நிலையும், அழுத்தம் ஒரே நேரத்தில் மாறாமலிருக்கிற ஒரு செயல் முறையில் ஈடுபட முடியாது. ஆனால் அழுத்தம், வெப்பநிலை ஆகிய இரண்டிலும் மாற்றமில்லாமல் அமைப்பின் நிலையில் மாற்றமேற்படலாம். எடுத்துக்காட்டாக ஒரு திரவம் வாயுவாக மாறுவது இவ்வாறு நிகழலாம். சமநிலையிலிருக்கும் திரவ மற்றும் வாயுநிலைகளுக்கான கிப்ஸ் நிலையாற்றல்கள் ஒரே மதிப்புள்ளதாயிருக்கும். உண்மையில் மும்மைப் புள்ளியில் திட, திரவ, வளி நிலைகள் சமநிலையிலுள்ளபோதும் அவற்றின் கிப்ஸ் நிலையாற்றல்கள் சமமாயிருப்பதைக் காணலாம். எனவே அழுத்தமும் வெப்பநிலையும் மாறாமல் ஒரு நேர்மாறாக்கத் தக்க கட்ட மாற்றம் நிகழ்கிற ஓர்அமைப்பின் கிப்ஸ் நிலையாற்றலில் மாற்றம் ஏற்படாது. எனவே Pdv - க்குக் கூடுதலாக வேலையேதும் செய்யப்பட மாட்டாது.

15 குறிக்கோள் வாயு (Ideal Gas)

போதுமான அளவிற்குக் குறைந்த அழுத்தத்தில் உள்ள உண்மை வாயு (Real gas) வின் பண்புகளுள் ஒன்றானது வருமாறு. கொடுக்கப்பட்ட வெப்ப நிலையில் குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள வாயுவின் அழுத்தமும பருமனும்

$$PV = \text{மாறிலி}$$

என்னும் சமன்பாட்டுடன் தொடர்புடையவை. இது போன்ற சமன்பாடு ஒரு தொகுப்பின் ஒரே வெப்ப நிலையில் உள்ள பல நிலைகளையும் தொடர்பு படுத்துகிறது. இதனைச் சமவெப்பநிலை (isotherm) என்கிறோம். மேற்குறிப்பிட்ட சமன்பாட்டிற்கு உட்பட்டுச் சமவெபபநிலையில் உள்ள ஒரு வாயுவைக் குறிக்கோள் வாயு எனலாம். மேலும் குறிக்கோள் வாயுவின் வெப்பநிலை அளவு T என்பதை

$$T \propto \lim_{P \to 0} PV$$

என்று தொடர்பு படுத்தலாம்.

16 குறையுடை வளி (Imperfect gas)

அடர்த்திகளும, அழுத்தங்களும், வெபபநிலைகளும் இயல்பான அளவுகளில் இருக்கும்போது எல்லா வளிகளும் கிட்டத்தட்ட ஒரே மாதிரியான இயல்பில் இருக்கின்றன எனப் பரிசோதனைகள் மூலம் தெரிய வருகிறது. இதனடிப்படையில் எளிய இயல்பைக் கொணட ஒரு குறிக்கோள் வளியைப் பற்றிய கற்பிதம் உருவாக்கப்பட்டது. பாயிலின் விதி, சார்லசின் விதி ஆகியவற்றை இணைத்து உருவாக்கப்பட்ட $PV = mRT$ என்ற சமன் பாட்டை அத்தகைய குறையுடை வளியின் இயல்புகளை விவரிக்க வான்டர் வால், பெர்த்லாட், கிளாசியஸ், லீஸ், டயட் டெரிசி, காலண்டர் ஆகியோர் பல சமன்பாடுகளை உருவாக்கியுள்ளனர். ஒரு வளியின் ஒரு கிராம் மூலக்கூறுக்கு $(P + a/v^2)(v - b) = RT$ என்ற சமன்பாட்டை வான்டர்வால் உருவாக்கினார். இதில் a,b ஆகியவை மாறிலிகள். இந்த சமன்பாடு மிகவும் எளியதாயிருப்பதால் மிகப் பரவலாகப் பயன்படுத்தப படுகிறது.

எனினும் அதில் சில குறைகளும் உள. அவற்றை நீக்கும் வகையில் மற்றவர்கள் சமன்பாட்டில் பல திருத்தங்களையும், சேர்க்கைகளையும் சேர்த்துள்ளனர்.

17 கூட்டமைப்பு (Ensemble)

பல துகள்களின் தொகுப்பை ஓர் அமைப்பு எனலாம். ஒன்றையொன்று சாராத ஒத்த அமைப்புகளின் தொகுப்பு கூட்டமைப்பு எனப்படும். அமைப்புகளின் பருமன், ஆற்றல், அழுத்தம், துகள்களின் எண்ணிக்கை அனைத்தும் ஒரே மாதிரியாக இருக்கும். ஓர் அமைபபு மற்றொன்றுடன் இடைவினை புரிவதில்லை. ஓர் வாயுவில் இடைவினை புரியாத மூலக்கூறுகள் செயற்படுவதுபோல் கூட்டமைப்பில் உள்ள அமைப்புகளும் செயற்படும். அமைப்பின் சமநிலை ஏற்பட ஒரே மாதிரியான பண்பளவுகள் தேவைப்படும். ஆயங்கள் மற்றும் திசைவேகங்கள் ஆகிய நிலைமதிப்புகளில் ஒவ்வொரு உறுப்பும் மாறுபடும்.

ஒத்த பண்புகளின் அடிப்படையில் கூட்டமைப்புகளை பல்வேறு விதமாகப் பிரிக்கலாம். அவை: i) நுண்பண்பொத்த கூட்டமைப்பு; ii) பண்பொத்த கூட்டமைப்பு; iii) மீப்பண்பொத்த கூட்டமைப்பு. முதல் வகையில் ஆற்றல், பருமன், துகள் எண்ணிக்கை ஆகிய பண்புகள் ஒரே மாதிரியாக இருக்கும். இரண்டாம் வகையில் வெப்பநிலை, பருமன், துகள் எண்ணிக்கை ஆகியவை ஒரே மாதிரியாக இருக்கும். மூன்றாம் வகையில் வெப்பநிலை, பருமன், வேதியல் அழுத்தம் ஆகியவை ஒரே மாதிரியாக இருக்கும். வெப்ப இயக்கவியல் அளவைகளுக்கும், அவற்றின் பண்பாய்வுகளுக்கும் கூட்டமைப்புக் கொள்கை பெரிதும் பயன்படுகிறது.

18 கூட்டுறவு நிகழ்வுகள் (Co-operative phenomena)

ஒரு பெரிய துண்டுப் பொருளில் ஏராளமான எண்ணிக்கையில் அணுக்களிருக்கும். அந்த எண்ணிக்கை ஏறத்தாழ 6×10^{23} என்ற அவகட்ரோ எண்ணின் மடங்குகளாக இருக்கலாம். எல்லாவிதமான வெப்பவியக்கவியல் நிகழ்வுகளும் இத்தகைய ஒரு பெரிய எண்ணிக்கையில் அணுக்கள் பங்கேற்பதையே பொறுத்துள்ளன. அணுக்களுக்கு இடையிலான அடிப்படை இடைவினைகள் குறு நெடுக்கமுள்ளவையாக இருந்தபோதிலும், இவ்வளவு பெரிய எண்ணிக்கையில் அணுக்கள் பங்கேற்பதையே பொறுத்துள்ளன. அணுக்களுக்கு இடையிலான அடிப்படை இடைவினைகள் குறு நெடுக்கமுள்ளவையாக இருந்த போதிலும், இவ்வளவு பெரிய எண்ணிக்கையில் அணுககள் பங்கேற்பதானது, தக்க சூழ்நிலைகளில் பெரும் இடைவெளிகளில் அமைந்துள்ள அணுக்களுககு இடையில் கூட ஒரு விளைவுறு இடைவினையை உண்டாக்க முடியும். இத்தகைய பெரும் நெடுக்க விளைவுறு இடைவினைகளின் காரணமாக உண்டாகும் நிகழ்வுகள் கூட்டுறவு நிகழ்வுகள் எனப்படுகின்றன. கட்டமாற்றங்கள் இத்தகைய கூட்டுறவு நிகழ்வுகளுக்கு எளிய எடுத்துக் காட்டுகள். நீராவி நீராக மாறுவது, நீர் பனிக்கட்டியாக உறைவது ஆகியவை நமக்குப் பழக்கப்பட்ட கட்ட மாற்றங்கள். ஏறத்தாழ 1043 K என்ற கியூரி வெப்பநிலையில் இரும்பில் நிகழும் அயகாந்த கட்ட மாற்றமும் இத்தகைய ஒரு நிகழவே.

கட்ட மாற்றத்தை வெளிக்காட்டுகிற பல மாதிரிகளில் ஐசிங் மாதிரி புகழ்பெற்றது. முப்பரிமாண அமைப்பில் அந்த மாதிரி மிகவும் சிக்கலானதாகி விடுகிறது. இதுவரை அதில் துலலியமான கணக்கீடுகள் செய்யப்படவில்லை. ஒற்றைப் பரிமாண ஐசிங் மாதிரி கட்ட மாற்றத்துக்கு ஆளாவதில்லை. ஆனால் இரட்டைப் பரிமாண ஐசிங் மாதிரி ஒரு அயக்காந்த கட்ட மாற்றத்துக்கு ஆளாவது மட்டுமன்றி அதன் பல இயல்பியல் பண்புகளைத் துல்லியமாகக் கணக்கிடவும் முடிகிறது. உண்மையில் பரிமாணத் தன்மைக் கட்டுப்பாடுகள்

இருந்தபோதிலும் இரட்டைப் பரிமாண ஐசிங் மாதிரி, கியூரி வெப்பநிலைக்கு அருகாமையில் உள்ள காந்த அமைப்புகளுக்கே உரித்தான எல்லா நிகழ்வுகளையும் வெளிக்காட்டுகிறது.

19 கோண உந்தம் (Angular momentum)

ஒரு துகளின்மீது விசையொன்று தாக்கும்பொழுது அத்துகள் நகரத் துவங்குகிறது; அதுபோது அதற்கு உந்தம (momentum) ஏற்படுகிறது. உந்தம் $\vec{p}$ என்றால், $\vec{p} = m\vec{v}$; m அத்துகளின் பொருள்திணிவு, $\vec{v}$ அதன் திசைவேகம். ஏதாவது ஒரு தொடங்கு நிலையிலிருந்து (origin) இயங்கு புள்ளியின் தூரம் $\vec{r}$ என்று கொள்வோம். அப்போது கோண உந்தம் $\vec{L}$ ஆனது, திசைத் தூரம், உந்துதல் ஆகியவற்றின் குறுக்குத் திசையிப் பெருக்கால் (vector product) கொடுக்கப் படும்.

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}.$$

இந்த இயஙகு புள்ளியைத் தாக்கும்விசை, சமச்சீர் கோளகத்தில் (spherically symmetric) இருபபின், கோண உநதம் ஒரு மாறிலியாக இருக்கும். பண்டைய நிலையியக்கவியலில் (classical mechanics) பாய்சான் அடைப்பு (Poisson bracket) என்று ஒன்று உண்டு. கோண உந்தத்தின் கூறுகள் பின்வரும் பாய்சான் அடைப்புகளைப் பின்பற்றுகின்றன:

$$\left\{L_i, L_j\right\} = \varepsilon_{ijk} L_k; \qquad i, j, k = 1, 2, 3.$$

இந்தக கோண உந்தம் மாறும்பொழுது, அதன் நேர மாற்றம் (time change) ஒரு முறுக்கத்தை (திருகு விசை; torque) $\vec{N}$ ஏற்படுத்துகின்றது.

$$\vec{N} = \frac{d\vec{L}}{dt}.$$

20 சிறு அலைவியக்கங்கள் (Small oscillations)

இயற்கையில் எந்த ஓர் அமைப்பிலும் அதன் உறுதிச் சமநிலையிலிருந்து சிறு விலகல் உண்டாகும்போது அவ்விலகலுக்கு எதிர்மறையாகவும் விலகலின் அளவுக்கு நேர் தகவாகவும் ஏற்படும மீட்புவிசை அவ்வமைப்பை மீண்டும் அதன் உறுதிச் சமநிலைக்குக் கொணடு செல்லும். ஆனால் ஆற்றலின் அழிவற்ற தன்மையால், சமநிலையிலிருந்து அமைப்பு விலகியபோது பெறற உள்நிலை ஆற்றல் சமநிலையை அடையும்போது இயக்க ஆற்றலாக மாறுகிறது. இவ்வியக்க ஆற்றல் அமைப்பை மீண்டும் சமநிலையிலுருந்து விலக்கி முந்தைய விலகலுக்கு எதிர்த்திசையில் கொண்டு செல்லும். இவ்விலகல் இயக்க ஆற்றல் முழுவதும் உள்நிலை ஆற்றலாக மாறும்வரை நிகழும். பின் மீண்டும் உள்நிலை ஆற்றல் இயக்க ஆற்றலாக மாறுகிறது. இப்படி மீண்டும் மீண்டும் நிகழ்பவையே சிறு அலைவியககங்கள். பல விடுநிலைகளையுடைய ஓர் அமைப்பின் இத்தகைய சிறு அலைவியக்கஙகள் மிகவும் சிக்கலானவையாக இருந்தாலும் அவற்றைத் தொடர்பற்ற இயல்பியககங்களின் சேர்க்கையாகக காணமுடியும். இப்பகுத்தாய்வுக்கு உதவுபவையே இயலபு ஆயஙகள் ஆகும். அணுத்திரளைகளின் இயக்கங்கள் பற்றிய பகுத்தாய்வு, திடப்பொருளியல், புலங்கள் பற்றிய கருத்தியல் மற்றும் பல தொழில்நுட்பப் பயன்முறைகளில் சிறு அலைவியக்கங்களைப் பறறிய அறிவு தேவையாகிறது.

21 செயல் – கோண மாறிகள் (Action - angle variables)

கால மடிப்பு இயக்கம் (periodic motion) பல அடிப்படைக் கூறுகளுக்கு முன்மாதிரியாக இருப்பதால், இதுபற்றிப் பல விளக்கங்கள் நிலையியக்கவியலில் உண்டு. பொதுவாக இவ்வியக்கத்தின் பாதையைவிட, அதிர்வுஎண் (frequency) முக்கியமாகக் கருதப்படுகின்றது. ஒரு கால மடிப்பு இயக்கத்தை எடுத்துக் கொண்டால் அதன் செயல்மாறி (action variable) பின் வருமாறு இருக்கும்.

$$J = \int pdq$$

இங்கு p என்பது q ஆயத்தின் சார்புடை உந்தம். இத்தொகையீடு (Integral) ஒரு முழு அலைவு நேரத்திற்கு எடுக்கப்படுகிறது.

நியமன மாற்றங்கள் (canonical transformations) வாயிலாக ஹெமில்ட்டன்–ஜெகோபி முறை உருவாகிறது. இம்முறையில், ஹெமில்ட்டன்–ஜெகோபியின் சமன்பாட்டைத் தீர்வு காணும் வகையில் கையாளப்பட்ட மாறிலிகள், மாற்றப்பட்ட உந்தங்களாகக் கருதப் படுகின்றன.

$$H(q_1, \ldots, q_n ; \frac{\partial s}{\partial q_1}, \frac{\partial s}{\partial q_2}, \ldots, \frac{\partial s}{\partial q_n}, t) + \frac{\partial s}{\partial t} = 0$$

என்பது ஹெமில்ட்டன்–ஜெகோபியின் சமன்பாடு. இங்கு $(\partial s/\partial q_i) = p_i$ $(i = 1, 2, \ldots n)$. இந்த ஹெமில்ட்டானியன் நேரத்தை வெளிப்படையாகச் சாரவில்லை என்றால்,

$$S = W(q_i, \alpha_i) - \alpha_i t$$

W என்பது ஹெமில்ட்டனின் தனிப்பட்ட சார்பு; α_i எல்லாம் மாறிலிகள். பின், ஹெ–ஜெ சமன்பாடு

$$H(q, \frac{\partial W}{\partial q}) = \alpha_i \ , \ p_i = \frac{\partial W}{\partial q_i}.$$

எனவே p என்பது q–வையும் α–க்களையும் பொறுத்திருக்கும். மேலே வரையறுக்கப்பட்ட J என்பது α_i–ஐப் பொறுத்திருக்கும். எனவே, W என்பது W(q,J). இப்பொழுது கோணமாறி (angle variable) வரையறுக்கப்படுகிறது:

$$W = \frac{\partial W}{\partial J}.$$

22 டி' ஆலம்பர்டின் தத்துவம் (D' Alembert's principle)

N துகள்களைக் கொண்ட ஒரு தொகுப்பை எடுத்துக் கொள்வோம். இத்தொகுப்பில் i என்னும் துகளின் முடுக்கம் a_i எனக் கொள்வோம். இத்துகளின்மீது F_i என்னும் வெளிவிசையைச் செலுத்தி அத்துகளை நிலை நிறுத்துவதாகக் கொள்வோம். இவ்வாறாக எல்லாத் துகள்களையும் பொருத்தமான வெளிவிசைகளைக் கொண்டு நிலைநிறுத்தம் செய்யலாம். இவ்வாறு நிலைநிறுத்தம் செய்யப்பட்ட துகளுக்கு செயலுறா வேலைத் தத்துவத்தைப் பயன்படுத்தி

$$\sum_i (m_i \vec{a}_i - \vec{F}_i) . \delta \vec{r}_i = 0$$

என்ற சமன்பாட்டை டி' ஆலம்பர்ட் கொடுத்துள்ளார். இதில் δr_i என்பது i என்ற துகளின் செயலுறா இடப்பெயர்ச்சி ஆகும். இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து பொது ஆயங்களைப் பயன்படுத்தி லக்ராஞ்சியன் சமன்பாட்டைத் தருவிக்கலாம்.

23 தனி ஆற்றல் (Free energy)

வெப்பவியக்கவியலின் முதலிரண்டு விதிகளை இணைத்து $du = Tds - dW$ என்ற சமன்பாட்டைப பெறலாம். ஓர் அமைப்பு தனது சுற்றுப்புறத்துடன் வெப்பத்தைப் பரிமாறிக் கொண்டு T என்ற மாறாத வெப்ப நிலையில் நீடிக்குமானால் $Tds = d(TS)$ என எழுதலாம். எனவே மேற்சொன்ன சமன்பாட்டைப் பின்வருமாறு மாற்றலாம்.

$$du = d(TS) - dW \text{ அல்லது } d(u-TS) = -dW \text{ அல்லது } dF = -dW$$

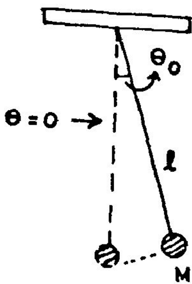
இதில் $F = u - TS$ எனற சார்பம் ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸின் சார்பம் அல்லது தனி ஆற்றல் என்றழைக்கப்படுகிறது. நேர்மாறாக்கத் தக்க மாற்றங்களின்போது அமைப்பு செய்த வேலை ஹெலம் ஹோல்ட்சின் சாாபத்தில் ஏற்படும் குறைவுக்குச் சமம். எனவே இந்தச் சார்பத்தை வேலைசார்பம் எனவும் குறிப்பிடுவது பொருத்தமே. F என்பது பொருளின் நிலையை மட்டுமே சார்ந்திருக்கும். df என்பது ஒரு முழு வகைக்கெழு ஆகும். ஒரு நோமாறாக்கததக்க, வெபபநிலை மாறாத செயல் முறையில் F சார்பத்தில் ஏற்படும் மாறறம் அச்செயல்முறையின்போது விடுவிக்கப்பட்டு எந்திர ஆற்றலாக மாற்றப்படுகிற ஆற்றலுக்குச் சமமாக இருப்பதால் ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸ் F- சார்பற்றுத் தனி அமைப்பின் உள்ளிட ஆற்றலாகத்தான் இருக்க வேண்டுமென்கிற கட்டாயமில்லை. எடுத்துக்காட்டாக ஒரு விரிவுக்கு ஆளாகும்போது, வாயுவின் உள்ளிட ஆற்றல் மாறாது. அதன் வெப்ப நிலையை மாறாமல் வைக்கும் வெப்ப மூலத்திலிருந்துதான் வெப்பம் விடுவிக்கப்படுகிறது.

24 தனி ஊசல் (Simple pendulum)

ஓா அமைபபின ஏதாவதொரு பண்பின் கால மாறுபாடு

$$q(t) = A\cos(2\pi\nu t + \varphi)$$

என்ற விதத்தில் இருந்தால், அப்பண்பு (q) தனிச்சீர் அலைவாக இயங்குகிறது என்கிறோம். இசசமன்பாட்டில் A வீச்சையும், ν அலைவெண்ணையும், φ தொடக்க கால $(t = 0)$ நிலையையும் குறிக்கின்றன.



தனிச்சீர் அலைவு (simple harmonic oscillation) இயக்கத்தின் ஓர் எடுத்துக்காட்டு தனி ஊசல். நிலையான ஓரிடத்திலிருந்து தொங்கும், நிறையும் நீள்தன்மையுமற்ற கயிறறின் முனையில் கட்டிவிடப்பட்ட ஒரு பளுவே இவ்வமைப்பாகும். இப்பளு அதன் செங்குத்தான $(\theta=0)$ உறுதிச் சமநிலையிலிருநது சிறிதே விலக்கி ($\theta = \theta_0$ என்ற அளவில்) விடப்பட்டால், புவியீர்ப்பால் உண்டாகும் மீட்புவிசை காரணமாகவும் ஆற்றலின் அழிவற்ற தன்மையாலும் தனிச்சீர் அலைவு இயக்கம் உண்டாகும். θ என்ற கோணத்தின் கால மாறுபாடு

$$\theta = \theta_0 \cos\left(\sqrt{\frac{g}{l}}\, t + \varphi\right)$$

என்று இருக்கும் இச்சமன்பாட்டில் l கயிற்றின் நீளத்தையும் g புவியீர்ப்பு முடுக்கத்தையும் குறிக்கினறன. $\theta = \theta_0$ (வீச்சு) என்று இருக்கும்போது, $t = 0$ என்று காலக் கணக்கீடு தொடங்கப் பட்டால், $\varphi = 0$ ஆகும்.

25 தொடர்நிலை மாற்றம் (Continuous transformation)

காலம் t_0–லிருந்து அதிகரிக்கும்போது, $\zeta = \zeta(\eta, t)$ நியமநிலை மாற்றம் தொடர்ச்சியாக மாற்றமடைகிறது. இது தொடர்நிலை மாற்றத்தின் குழுவில் ஒரு தனித் துணையலகு (parameter) ஆகும். சோபுஸ் லீ (Sophus Lie) என்ற கணக்கியல் நிபுணர் தொடர்நிலை மாற்றத்தை அறிமுகப்படுத்தினார். தொடர்நிலை மாற்றம், நிலை மாற்றக் கொள்கையில் மிகவும் முக்கியப் பங்கு வகிக்கிறது.

$\eta \to \zeta(t)$ என்ற நிலைமாற்றம் நியமமானதாக இருப்பின், $\eta \to \zeta(t_0)$–வும் கூட நியமநிலை மாற்றமாகத்தான் இருக்கும். நியமநிலை மாற்றத்தின் வரைவிலக்கணப்படி

$\zeta(t) \to \zeta(t_0)$ என்ற நிலைமாற்றமும் நியமநிலை மாற்றத்தைச் சார்ந்ததுதான். மிகவும் பரவலாகவும் அதிகமாகவும் பயன்படும் மீநுண் நியமநிலை மாற்றத்தை (infinitesimal canonical transformation) நாம் இங்கே நினைவில் கொண்டு வரலாம்.

dt வழியாக, மீநுண் நியமநிலை மாற்றத்தைத் தொடர்ச்சியாக உருவாக்கி $\zeta(t_0) \to \zeta(t)$ என்ற நிலை மாற்றத்தைத் தோற்றுவிக்கலாம். இதைத்தான் நாம் $\zeta(\eta, t_0)$–லிருந்து $\zeta(\eta, t)$ என்ற தொடர்நிலை மாற்றம் எனக் குறிப்பிடுகிறோம்.

26 தொடுகைநிலை மாற்றம் (Contact transformation)

q_k, p_k என்பன நிலை, மற்றும் உந்தக் கூறுகளாகும். Q_k, P_k என்பன புதிய நிலை, மற்றும் உந்தக் கூறுகளாகும். அதாவது,

$$Q_k = Q_k(p_j, q_j, t) \text{ and } P_k = P_k(p_j, q_j, t)$$

புதிய கூறுகளில், ஹெமில்ட்டோனியன் $K = K(Q_k, P_k, t)$ என்று இருக்குமானால்,

$$\dot{P}_k = -\frac{\partial K}{\partial Q_k}; \qquad \dot{Q}_k = \frac{\partial K}{\partial P_k}.$$

இந்த நிலைமாற்றத்தை, நியமநிலை மாற்றம் (Canonical transformation) என அழைக்கிறோம். இது தொடுகைநிலை மாற்றம் (contact transformation) எனவும் அழைக்கப்படுகிறது. Q_k, P_k என்பவற்றை நியமக் கூறுகள் என அழைக்கிறோம். இவை நியம நிலை மாற்றமாக இருக்க வேண்டுமெனில், கீழ்க்காணும் கோவை

$$\sum_i p_i\, dq_i - \sum_i P_i dQ_i$$

சரியான வகையீட்டுக்குரியதாக (differential) இருக்க வேண்டும். நியமநிலை மாற்றம் என்பது கட்டவெளி (phase space) நிலை மாற்றமேயாகும். ஹெமில்ட்டன் இயக்கச் சமன்பாடு, தொடுகைநிலை மாற்றத்தால் மாறாது.

27 நியமன உந்தம் (Canonical momentum)

நிலையியக்கவியலின் அடிப்படை நியூட்டனின் விதிகள் ஆகும். அவை விரிவாக்கப்பட்டு, லாக்ராஞ்சியன் முறை கொணரப்பட்டது. ஒரு துகளையோ அல்லது எண்ணக்கூடிய (countable) பல துகள்கள் சேர்ந்த துகற்கூட்டத்தையோ எடுத்துக் கொள்வோம். இதன் அமைப்பை ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் கணிக்க நமக்கு விடுநிலைகள் (degrees of freedom) தேவைப்படும். எடுத்துக்காட்டாக (x,y,z) என்ற முப்பரிமாணமுள்ள

வெளியில் ஒரு துகளைக் குறிக்க மூன்று விடுநிலைகள் வேண்டும். ஆனால், இரண்டு துகள்கள் இணைக்கப்பட்டிருப்பின், ஐந்து விடுநிலைகளே போதுமானது. இந்த விடுநிலைகளின் எண்ணிக்கையையே, கூறுகளின் எண்ணிக்கையாகக் கொள்வோம் (number of co-ordinates). இப்பொழுது வெளி விரிவாக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த வெளியில் கூறுகளை $(q_1, q_2, ..., q_n)$ என்க. இவை நேரத்தோடு மாறும். நேரம் மாற, இவற்றின் அளவுகள் மாறி துகளின் பாதையைக் கணிக்க இயலும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் துகளின் அல்லது ஓர் அமைப்பின் நிலையை விவரிக்க, இந்தக் கூறுகளும, அவை எவ்வாறு நேரத்தோடு மாறுகின்றன என்ற தகவலும் தேவை. பின்னதை $\dot{q}_1 (= dq_1/dt), \dot{q}_2, ..., \dot{q}_n$ என்று குறிக்க. பிறகு லக்ராஞ்சியன் என்ற ஒரு சார்பத்தை (function) வரையறுப்போம். இது $(q_1, q_2, ..., q_n)$களையும் $(\dot{q}_1, \dot{q}_2, ..., \dot{q}_n)$களையும் சார்ந்திருக்கும்.

$$L = L(q_1, q_2, ..., q_n; \dot{q}_1, \dot{q}_2, ..., \dot{q}_n).$$

L ஆனது நேரத்தையும் சார்ந்து இருக்கலாம். (சில இலகுவான அமைப்புகளில் L ஆனது இயக்க ஆறறலுககும் நிலைஆற்றலுக்கும் உள்ள வேறுபாடு ஆகும்).

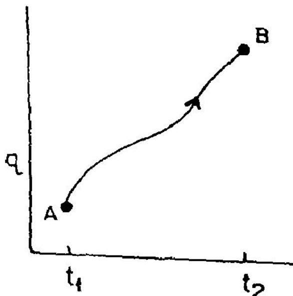
இப்பொழுது அத்துகள் A என்ற இடத்தில் இருந்து (நேரம் t_1) B என்ற இடத்திற்கு (நேரம t_2) போவதாக வைத்துக் கொள்வோம். அது எப்படி வேண்டுமானலும் போக முடியுமா? அதுதான் இல்லை. ஹெமில்ட்டன் விதிப்படி, அத்துகள் நீளத்தில் மிகக் குறைவான ஒரு பாதையையே தேர்ந்தெடுக்கும். அப்பாதையில் உள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியும் அததுகளின் நேர மாறுதலைக் கூறும். இப்பாதையைக் கண்டு பிடிப்பதற்கு, பின்வரும் தொகையீடு (Integral)

$$\int_{t_1}^{t_2} L(q_1, q_2, ..., q_n; \dot{q}_1, ..., \dot{q}_n, t)dt$$

மிகக குறைவாக இருக்க வேண்டும். இந்த முறையில் 'பொதுப்படை இயக்கச் சமன்பாடுகள்' நிர்ணயிக்கப் படுகின்றன. அவை

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0; \qquad i = 1, 2, ..., n$$

ஹெமில்ட்டனின் விதிப்படி q_i என்ற ஆயத்தினுடைய சார்புடை உந்தம் p_i என்பது, பின்வருமாறு



$$p_i = \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}; \qquad i = 1, 2, ..., n$$

இதன்பயனாகக் கொடுக்கப்பட்ட லக்ராஞ்சியனிலிருந்து, ஹெமில்ட்டோனியினைக் கண்டுபிடிக்கலாம். ஹெமில்ட்டோனியன் என்பது மொத்த ஆறறல் ஆகும். இது q_i களையும், P_i-களையும் சார்ந்திருக்கும்.

ஓர் அமைப்பில் ஏதாவது ஒரு கூறு (q_a என்க) லக்ராஞ்சியனில் வெளிப்படையாக (explicitly) தோன்றாமல் இருப்பின், $(\partial L/\partial q_a) = 0$; எனவே இந்தக் கூறினுடைய ஹெமில்ட்டன் விதிப்படி சார்புடை உந்தம் ஒரு மாறிலியாக இருக்கும். லக்ராஞ்சியனிலிருந்து ஹெமில்ட்டானியன் கண்டுபிடிக்கும் பொழுது, q_i களை p_i ஆக மாறற மேலே கூறிய $p_i = (\partial L/\partial \dot{q}_i)$ என்ற கோவை பயன்படுகிறது.

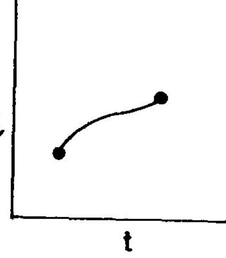
28 ***நியமநிலைச் சமன்பாடுகள்*** (Canonical equations)

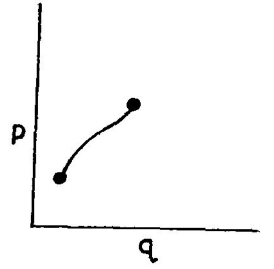
லக்ராஞ்சியனுடைய சமன்பாடுகள் இருமடங்கு அல்லது ஈரினச் சமன்பாடுகள் (second order) *ஆகும். அவற்றின் வழியே, பொருளின் பாதை பொதுப்படை வெளியில் கணிக்கப்படுகிறது. ஹெமில்ட்டோனியன்* H(q,p,t) *என்பது லக்ராஞ்சியனிலிருந்து தருவிக்கப்பட்ட ஒரு கோவை. அது* q_i*க்களையும்* p_i*க்களையும் பொறுத்திருக்கும். இவற்றின் சமன்பாடுகள்,*

$$\dot{q}_i = -\frac{\partial H(q,p,t)}{\partial p_i}$$

$$\dot{p}_i = -\frac{\partial H(q,p,t)}{\partial q_i}$$

$$\frac{\partial L}{\partial t} = -\frac{\partial H}{\partial t}$$





இச்சமன்பாடுகளை ஹெமில்ட்டனின் விதிப்படி சார்புடைச் சமன்பாடுகள் என்கிறோம். இப்பொழுது துகளின் பாதை (q-p) *என்ற கட்ட வெளியில்* (phase space) *இருக்கும். இவை ஓரினச் சமன்பாடு* (first order) *ஆகும்.*

29 ***நியமநிலை மாற்றங்கள்*** (Canonical transformations)

ஹெமில்ட்டனின் முறையில் உள்ள அடிப்படை மாறிகள், பொதுப்படை ஆயங்களும் (q) *அவற்றின் சார்புடை உந்தங்களும்* (p) *ஆகும். இவையே கட்ட வெளியை* (phase space) *அமைக்கின்றன. அவ்வெளியில் ஒரு புள்ளி, கட்ட அமைப்பின் ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையை உணர்த்துகின்றது. இப்பொழுது, அவ்வெளியின் இன்னொரு புள்ளியை முதற் புள்ளியிலிருந்து அடைய முடியுமா? அப்படி யென்றால், அவை எங்ஙனம் இணைக்கப்பட வேண்டும்?*

$$(q_i, p_i) \dashrightarrow (Q_i, P_i)$$

$$Q_i = Q_i\,(q,p,t)\,,\; P_i = P_i\,(q, p, t)$$

இப்புதிய புள்ளி, முந்தையப் புள்ளியின் (q,p)*க்களைப் பொறுத்திருக்கும். இது ஒரு மாற்றம்* (transformation) *ஆகும். ஆனால், இப்புதிய புள்ளி ஹெமில்ட்டனின் சமன்பாடுகளைப் பின்பற்ற வேண்டும். எனவே,*

$$\dot{Q}_i = \frac{\partial H^1}{\partial P_i}(Q, P, t)\,, \qquad \dot{P}_i = -\frac{\partial H^1}{\partial Q_i}(Q, P, t)$$

H^1 *என்பது இப்புதிய புள்ளிக்குரிய ஹெமில்ட்டானியன். ஏற்கெனவே முந்தைய புள்ளிக்கு* H *ஹெமில்ட்டானியன் எனின்,*

$$\dot{q}_i = \frac{\partial H}{\partial p_i}(q, p, t)\,, \quad \dot{p}_i = -\frac{\partial H}{\partial q_i}(q, p, t)$$

ஹெமில்ட்டனின் விதிப்படி சார்புடை மாறிகள், அவ்விதியையே பின்பற்றி இருப்பதால்,

$$\delta\int_{t_1}^{t_2}(P_i\dot{Q}_i - H^1(Q, P, t))dt = 0$$

$$\delta\int_{t_1}^{t_2}(p_i\dot{q}_i - H(q, p, t))dt = 0.$$

இந்த இரு சமன்பாடுகளும் ஒருங்கமைச் சமன்பாடுகளாகும். எனவே இவை ஏற்கப்பட வேண்டுமெனின்,

$$p_i\dot{q}_i - H(q, p, t) = P_i\dot{Q}_i - H^1(Q, P, t) + \frac{dF}{dt}.$$

இங்கு, F என்பது ஏதாவது ஒரு சார்பு (function). F இயற்பியல் பகுதி வெளி ஆயங்களைச் சார்ந்து இருக்கும். (லக்ராஞ்சியனுடன் (dF/dt) போன்றவற்றைச் சேர்ப்பின், இயக்கச் சமன்பாடுகள் மாறா). இத்தகைய மாற்றம் (q,p) ---> (Q, P) ஹெமில்ட்டனின் விதிபபடி சார்புடை மாற்றம் ஆகும்.

30 நியமநிலை மாறிகள் (Canonical variables)

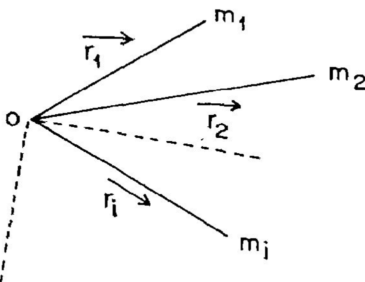
நிலையியக்கவியலில் லக்ராஞ்சியன் முறை என்றும் ஹெமில்ட்டோனியன் முறை என்றும், ஒன்றுக்கொன்று சம்பந்தப்பட்ட இரண்டு முறைகள் உண்டு (ஒன்று மற்றொன்றைவிடப் பயன் தருவதாக இருக்கும்). லக்ரான்ஜியன் முறையில் வெளியானது n பரிமாணமுள்ளது. (n என்பது பொதுப்படைக் கூறுகளின் எண்ணிக்கையாகும்). ஹெமில்ட்டோனியன் முறையில், வெளியானது 2n பரிமாண முள்ளதாக உருப்பெறுகிறது. n எண்ணிக்கையுள்ள q_i களுடன், n எண்ணிக்கையுள்ள p_i களும் சேர்ந்து, 2n பரிமாணம் பெறுகின்றது. இந்தப் பொதுப்படைக் கூறுகளும் (q_i) இவற்றின் உந்தங்களும் ஹெமில்ட்டனின் சமன்பாடுகளைப் பின்பற்றுகின்ற $\{q_i,p_i\}$ நியமநிலை மாறிகள் என்று அழைக்கப் படுகின்றன.

31 நிறை மையம் (Centre of mass)

பல துகள்களடங்கிய ஒரு துகள்தொகுதியின் இயக்கத்தை, அதன் நிறை மையத்தின் இயக்கம் வழியாக அறியலாம். நிறை மையம் என்பது, எந்தப் புள்ளியில் துகள்தொகுதியின் நிறைத் திருப்புதிறன் சுழியாகிறதோ, அந்தப் புள்ளியைக் குறிக்கும். இமமையத்தினமீது இருவித விசைகள் செயல்புரிகின்றன. ஒன்று புறவிசை. மற்றொன்று துகள்களிடையே தோன்றும் அகவிசை. நிறை மையம் துகள்களின் நிறைகளையும் அவற்றின் இடைத் தூரங்களையும் மட்டுமே பொறுத்ததாகும். பயன்படுத்தும ஆயகோட்டுத் தொகுதியைப் (axes of coordinates) பொறுத்து அது மாறுவதில்லை.

துகள்தொகுதியின் மொத்த நிறை $M = \sum_{i=1}^{N} m_i$;

m_i என்பது i ஆவது துகளின் நிறையாகும். நிலையான தொடக்கத்திலிருந்து (origin) அதன் திசையிநிலை $\vec{r_i}$ ஆகும்.



துகள் தொகுதியின் திசையிநிலை

$$\vec{R} = \frac{\sum m_i \vec{r_i}}{\sum m_i} = \frac{1}{M}\sum m_i \vec{r_i}$$

32 நுண்ணுறு தொடர்பு மாற்றம் (Infinitesimal contact transformation)

ஒரே தொகுப்பைப் பல்வேறு பொதுமை ஆயக்கூறுகளின் கணங்களைக் கொண்டு விவரிக்கலாம். அவற்றில் ($q_1, q_2, ..., q_N, t$) என்பதை ஒரு கணமாகவும், ($Q_1, Q_2, ..., Q_N, t$) என்பதை மற்றொரு கணமாகவும் கருதினால், இந்த இரு கணங்களுக்கிடையே

$$Q_1 = Q_1 \{q_1, q_2, ..., q_N, t\}$$

என்பது போன்ற தொடர்பு இருந்தால், மேற்கூறிய சமன்பாட்டைத் 'தொடர்பு மாற்றுச் சமன்பாடு' எனலாம். மேற்கூறிய தொடர்பு மாற்றம்,

$$Q_1 = q_1 + dq_1$$

என மீச்சிறு மாற்றம் மட்டும் பெற்று எளிமையாக அமையும்போது அது 'நுண்ணுறு தொடர்பு மாற்றம்' எனப்படும். நுண்ணுறு தொடர்பு மாற்றம் பெறும்போது பொதுமை ஆயங்கள் சில, வட்ட ஆயங்கள் ஆகின்றன. வட்ட ஆயங்களின் தழுவிய உந்தம் மாறிலிகளாக இருப்பதால் தீர்வு காண்பது எளிமையாகிறது.

33 பங்கீட்டு அடர்த்தி (Density of distribution)

ஒரு கூட்டமைப்பில் (ensemble) காணப்படும் தனித்தனி உறுப்புக்கள் தொடர்ந்து ஒரு கட்டத்திலிருந்து மற்றொன்றிற்கு மாறிக்கொண்டே இருக்கும். கட்டவெளியில் கட்டப்புள்ளிகள் பங்கிடப்பட்டுள்ள விதத்தை அறிய ஒரு பண்பளவு பயன்படும். அது கூட்டமைப்பின் பங்கீட்டு அடர்த்தி எனப்படும். இதை நிகழ்தகவு அடர்த்தி என்றும் குறிப்பிடலாம். $q_1, q_2, q_3, ... q_f$ ஆகியவை நிலை ஆயங்களையும், $p_1, p_2, p_3, ... p_f$ ஆகியவை உந்த ஆயங்களையும், ρ என்பது பங்கீட்டு அடர்த்தியையும், t என்பது குறிப்பிட்ட காலத்தையும் குறிப்பதாகக் கருதுவோமெனில்,

$$\rho = \rho(q_1, q_2, q_3, ... q_f; p_1, p_2, p_3, ... p_f; t)$$

கட்டவெளியின் ஒரு சிறிய பருமனுக்குள், குறிப்பிட்ட நேரத்தில் அடங்கியுள்ள அமைப்புகளின் எண்ணிக்கையைப் பங்கீட்டு அடர்த்தி (ρ) மூலம் கணக்கிடப்படும். N என்பது அந்த எண்ணிக்கையைக் குறித்தால்,

$$\delta N = \rho . \delta q_1 . \delta q_2 . ... \delta q_f . \delta p_1 . \delta p_2 . ... \delta p_f$$

$\delta q_1 . \delta q_2 . ... \delta q_f . \delta p_1 . \delta p_2 . ... \delta p_f$ என்ற மதிப்பு அதிபருமன் (hyper-volume) எனப்படும். இது $\delta\Gamma$ என்று குறிக்கப்படும். எனவே, $\delta N = \rho\delta\Gamma$. அதாவது குறிப்பிட்ட நிலையில், குறிப்பிட்ட காலத்தில் உள்ள துகள்தொகுதிகளின் எண்ணிக்கை பங்கீட்டு அடர்த்தி மற்றும் அதிபருமன் ஆகியவற்றின் பெருக்குத்தொகைக்குச் சமம்.

34 பண்பொத்த பங்கீடு (Grand canonical distribution)

வேதியியல் வினைகள், அணுக்கரு வினைகள் போன்றவற்றில் துகள்களின் எண்ணிக்கை மாறும். தேக்கி ஒன்றுடன் ஆற்றலும் துகள்களும் பரிமாறிக்கொள்ளப்படும். இத்தகைய அமைப்புகளின் தொகுதி மீப்பண்பொத்த கூட்டமைப்பு எனப்படும். இக்கூட்டமைப்பின் துகள்களின் பங்கீடு மற்ற பங்கீடுகளிலிருந்து மாறுபட்டு இருக்கும். n - துகள்கள், E - என்ற ஆற்றல் நிலையில் T - வெப்பநிலையில் இருப்பதற்கான நிகழ்தகவு கீழ்க்கண்ட தொடர்பு மூலம் தரப்படும்:

$p(n) = \exp[(\Omega + n\mu - E)/KT]$

இங்கு Ω- என்பது வெப்ப இயக்கவியல் அழுத்தம் எனப்படும்; μ- என்பது வேதியியல் அழுத்தம் ஆகும்; K - என்பது போல்ட்ஸ்மன் மாறிலி ஆகும். உயர்ந்த ஆற்றல் நிலையில் துகள்கள் இருப்பதற்கான வாய்ப்புக் குறைவு என்பதை இச்சமன்பாடு காட்டும். இக்கருத்து மற்ற பங்கீட்டு விதிகளுக்கும் பொருந்தும். வெப்பநிலையைப் பொறுத்தும் நிகழ்தகவு மாறுபடும் என்பதை இது காட்டும். இப்பங்கீட்டு விதியைப் பயன்படுத்தி திசைவேகப்பங்கீடு பற்றிய மாகஸ்வெல் விதியைப் பெறமுடியும். ஆற்றல் சமபங்கீட்டு விதியையும் இதிலிருந்து தருவிக்க முடியும்.

35 பாய்சான் அடைப்பு (Poisson bracket)

ஹெமில்ட்டன் முறையில், ஓர் அமைப்பின் இயக்கம்

$$\dot{q}_i = \frac{\partial H}{\partial p_i}, \quad \dot{p}_i = -\frac{\partial H}{\partial q_i}; \quad i = 1, 2, \ldots, n$$

என்ற 2n ஒருபடிப் பகுதிவகையீட்டுச் சமன்பாடுகளால் விவரிக்கப்படுகிறது. இவையே ஹெமில்ட்டானியன் விதிமுறையான இயக்கச் சமன்பாடுகள் எனப்படுகின்றன. இதில் H என்று குறிக்கப்படும் ஹெமில்ட்டோனியன் $\{q_1, q_2, \ldots, q_n; p_1, p_2, \ldots, p_n\}$ என்ற 2n நிலைவெளி மாறிகள் மற்றும் காலத்தின் (t) சார்பாக அமையும். பொதுவாக, F, G என்ற இரு நிலைவெளிச் சார்புகளிடையே

$$\{F, G\} = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial F}{\partial q_i}\frac{\partial G}{\partial p_i} - \frac{\partial F}{\partial p_i}\frac{\partial G}{\partial q_i}\right)$$

என்ற தொகுப்பு பாய்சான் அடைப்பு என்று அழைக்கப்படுகிறது. பாய்சான் அடைப்பின் சில இயற்கணிதப் பண்புகள்:

$\{F, G\} = -\{G, F\}$, $\{cF, G\} = c\{F, G\}$; (c = நிலையெண்)

$\{(F_1 + F_2, G)\} = \{F_1, G\} + \{F_2, G\}$,

$\{\{F, G\}, K\} + \{\{G, K\}, F\} + \{\{K, F\}, G\} = 0$.

36 பிரிசார்பங்கள் (Partition functions)

ஓரமைவின் பல்வேறு ஆற்றல் நிலைகளில், அவை கொள்ளக்கூடிய வகையில், அமைப்பின் துகள்களை ஒரு குறிப்பிட்ட முறையில் பிரிப்பதையே பிரிசார்பங்கள் என்கிறோம். பிரிசார்பத்தை

$$Z = \sum_i g_i e^{-\beta E_i} \qquad (1)$$

என்னும் சமன்பாட்டைக் கொண்டு குறிப்பிடலாம். இங்கு $\beta = (1/kT)$ எனப்படுகிறது. மேக்சுவல் - போல்ட்சுமன் மாதிரிப்படி

$$n_i = [1/A]\, g_i e^{-\beta E_i} \qquad (2)$$

இங்கு g_i என்பது, ஆற்றல் E_i உடைய குவாண்ட நிலைகளின் எண்ணிக்கையாகும். பழமை மாதிரிபபடி E_i ஆற்றல் உடைய துகள்களின் எண்ணிக்கை $n_i = [1/A]e^{-\beta E_i}$ எனவே பழமை மாதிரிக்கு $g_i = 1$ ஆகும். தற்போது

$$N = \sum_i n_i = [\,1/A\,] \sum_i e^{-\beta E_i} \qquad (3)$$

இங்கு $\sum e^{-\beta E_i} = Z$. பொதுவாக $g_i = 1$ எனக் கொள்ளாமலேயே மேக்சுவல் – போல்ட்சுமன் பகிர்வு விதியை

$$N = \sum_i n_i = [\,1/A\,] \sum_i g_i\, e^{-\beta E_i} = [\,Z/A\,] \qquad (4)$$

அல்லது $$[\,n_i/N\,] = [\,1/Z\,]\, g_i\, e^{-\beta E_i} \qquad (5)$$

என்று குறிப்பிடலாம்.

37 பின்னல் கட்டமைப்பு (Symplectic structure)

இயக்கவியல் இயக்கச் சமன்பாடுகளை ஹெமில்ட்டனின் விதிமுறைப்படியான அமைப்பில் எழுதினால்

$$\dot{q}_i = \frac{\partial H}{\partial p_i} \equiv \{q_i, H\},$$
$$\dot{p}_i = -\frac{\partial H}{\partial q_i} \equiv \{p_i, H\}\ ; \quad i = 1, 2, ..., n$$

என்றிருக்கும். இங்கு $\{,\}$ என்பது பாய்சான் அடைப்பைக் குறிக்கிறது. மேற்கண்ட இயக்கச் சமன்பாடுகளின் தோற்றம் மாறாமல் இருக்குமாறு ஒரு குறிப்பிட்ட (q_i, p_i , i = 1, 2, ..., n) என்ற நிலைவெளி ஆயக்கணத்திலிருந்து மற்றொரு (Q_i, P_i ,i =1,2, ..., n) என்ற நிலைவெளி ஆயக்கணத்துக்கு மாற்றுவதை விதிமுறைப்படியான மாற்றம் என்கிறோம். இங்கு (Q_i, P_i) என்பவை (q_i, p_i)களின் சார்பாக இருக்கும். இவ்வகை மாற்றத்திற்குத் தேவையான, மற்றும் போதுமான, கட்டுப்பாடு, (Q_j, P_j ,i, j = 1, 2, ..., n)–களிடையேயான அடிப்படைப் பாய்சான் அடைப்புகள் மாறாமல் இருக்கவேண்டும். அதாவது $\{Q_i, Q_j\} = 0$, $\{P_i, P_j\} = 0$, $\{Q_i, P_j\} = \delta_{ij}$ என்று இருக்கவேண்டும். இக்கட்டுப்பாட்டை மிக அழகாக ஒருமுறையில் தெரிவிக்கலாம்.

$$M_{ij} = \frac{\partial Q_i}{\partial q_j}$$

என்பது (qi, pi) ---> (Qi, Pi) என்ற மாற்றத்தின் ஜெகோபியன் தொகுப்புக் கோப்பாகும். J என்ற ஒரு 2n x 2n தொகுப்புக் கோப்பை $J = \begin{pmatrix} 0 & -I \\ I & 0 \end{pmatrix}$ என்று வரையறுப்போம்; இதில் I என்பது nxn முற்றொருமைத் தொகுப்புக் கோப்பும், O என்பது nxn முற்றுஞ்சுழித் தொகுப்புக் கோப்பும் ஆகும். இந்நிலையில் M என்பது

$$M^T JM = J \qquad (M^T = \text{நிலைமாற்றப்பட்ட } M)$$

என்ற சமன்பாட்டின்படி இருக்கும். பொதுவாகவே, ஒரு தொகுப்புக்கோப்பு M, $M^T JM=J$ என்றபடி இருந்தால் அதைப் பின்னலமைப்புள்ள தொகுப்புக்கோப்பு என்பர். அதனால் (q_i, p_i) ---> (Q_i, P_i) என்ற மாற்றம் விதிமுறைப் படியானதாக இருக்க, அதன் ஜெகோபியன் தொகுப்புக்கோப்பு பின்னலமைப்புள்ளதாக இருக்கவேண்டும். இயக்கவியலின் இவ்வமைப்பே பின்னல் கட்டமைப்பு எனப்படுகிறது. ஒரு அமைப்பின் இயக்கத்தில் நிலைவெளியில் அதன் நிலைத்தானம் மாறும்போது அம்மாற்றம் இவ்வாறு விதிமுறைப்படியே அமையும். அதனால் det(M) = 1 என்று அப்பொழுதும் இருக்கும். இதுவே லியோவில்லின் தேற்றம் எனப்படுகிறது.

38 பொதுமை ஆயக்கூறுகள் (Generalised co-ordinates)

ஒரு தொகுப்பின் அமைவை (configuration) விவரிக்கத் தேவையான, ஒன்றுக்கொன்று சார்பற்ற, மிகக் குறைந்த எண்ணிக்கையிலான மாறிகள் (variables) அத்தொகுப்பின் பொதுமை ஆயங்கள் எனப்படும். பொதுமை ஆயங்கள் கார்ட்டீசியன் ஆயங்களாக மட்டுமே இருக்க வேண்டிய தேவையில்லை. கோணம், ஆற்றல் அளவு, உந்தம், கோண உந்தம், காலம், வெப்ப அளவு போன்ற இயற்பியல் அளவுகள் பொதுமை ஆயங்களாக எடுத்துக் கொள்ளப்படலாம். இவ்வாறு இயற்பியல் மாறிகள் பொதுமை ஆயங்களாக நியமிக்கப்படும் போது கருத்தில் கொள்ளப்பட வேண்டியவை: 1) ஒரு தொகுப்பின் பொதுமை ஆயங்கள் அதன் அமைவை முழுமையாக விவரிக்க வேண்டும்; 2) பொதுமை ஆயங்கள் தன்னிச்சையாகவும், ஒன்றுக்கொன்று சார்பின்றியும் வரையறைகுட்பட்டும் மாறுகின்றன; 3) பொதுமை ஆயங்களைத் தேர்வு செய்யும் விதம் கணக்கீடுகளை (Problems) எளிமைப்படுத்துவனவாக இருக்க வேண்டும்.

பொதுமை ஆயக்கூறுகள் $q_1, q_2, ..., q_n$ என்பதை q_i ($i = 1,2, ..., n$) என்று சுருக்கமாகக் குறிப்பிடலாம்.

39 மாற்றுச் சமன்பாடுகள் (Transformation equations)

ஒரு தளத்தில் இயங்கும் துகளுக்கு x, y என்பன கார்ட்டீசியன் பொதுமை ஆயங்கள் ஆகும். அதாவது, $q_1 = x$; $q_2 = y$.

அதே துகளுக்கு r, θ என்பன கோளக ஆயங்கள் ஆகும். அதாவது, $q_1 = r$; $q_2 = \theta$.

மேற்கூறிய ஆயங்களைக் கீழ்க்கண்டவாறு தொடர்பு படுத்தலாம்.

$$q_1 = r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$q_2 = \theta = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right)$$

இந்தத் தொடர்புகளை மாற்றுச் சமன்பாடுகள் என்கிறோம். பொதுவாக N துகள்கள் கொண்ட ஒரு தொகுப்புககு

$$q_1 = q_1 (x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2; ..., x_N, y_N, z_N; t);$$

$$q_2 = q_2 (x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2; ..., x_N, y_N, z_N; t),$$

$$q_N = q_N (x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2; ..., x_N, y_N, z_N; t).$$

$n = 3N - K$ = மாற்றுச் சமன்பாடுகளின் எண்ணிக்கை. K என்பது வரையறைகளின் எண்ணிக்கை ஆகும்.

40 மாறுநிலை நிகழ்வுகள் (Critical phenomena)

ஒரு பொருள் தன் மாறுநிலைப் புள்ளியை அணுகும்போது வெளிக்காட்டுகிற இயல்பிலா இயற்பியல் பண்புகள் மாறுநிலை நிகழ்வுகள் எனப்படும். வெவ்வேறு பொருள்களின் மாறுநிலை நிகழ்வுகளை ஆராய்வதன் குறிக்கோள் ஒரு பொதுக் கொள்கையை உருவாக்குவதாகும்.

தண்ணீர் 322.2 கி.கி மீ^{3} என்ற அடர்த்தியிலும் 647 K என்ற வெப்ப நிலையிலும், 2.21×10^{7} பாஸ்கல் என்ற அழுத்தத்திலும் வைக்கப்படும்போது தனது ஒளி ஊடுருவும் தன்மையை இழந்து பால் போலக் கலங்கியதாகி ஒளியைச் சிதறடிக்கிறது. அந்த நிலை நீரின் மாறுநிலைப் புள்ளி எனப்படும். மேற்சொன்ன அளவுகள் முறையே மாறுநிலை அடர்த்தி, மாறுநிலை வெப்ப நிலை, மாறுநிலை அழுத்தம் எனக் குறிப்பிடப் படுகின்றன. வெவ்வேறு பொருட்களுக்கு இவை வெவ்வேறாக இருக்கும். மாறுநிலைப் புள்ளியில் இத்தகைய ஒளிச் சிதறல் மட்டுமன்றி வெப்பநிலை மாறா இறுக்கம், வெப்ப ஏற்புத்திறன் ஆகியவை வரம்பிலியாக உயர்வதும் நிகழும். அயக்காந்த அமைப்புகளின் மாறுநிலைப் புள்ளி கியூரி வெப்பநிலையில் நிகழ்கிறது. அப்போது ஒற்றைத் தன்மையான வெப்ப ஏற்புத்திறன், வேறுபட்ட காந்த ஏற்புத்திறன் ஆகியவை தோன்றுகின்றன.

41 மாறுநிலை மடிகள் (Critical exponents)

எல்லா மாறுநிலைக் கட்டமாற்றங்களிலும் ஒழுங்கு (order parameter) என்ற ஓர் அளவு பொதுவில் இடம் பெறுகிறது. ஓர் அயக்காந்த அமைப்பில் M எனப்படும் நிகர காந்தமாக்கம் என்பது ஒழுங்களவாகும். வெப்பநிலை மாறுநிலை அளவை அணுகும்போது அயகாந்த அமைப்பில் M திடீரெனத் தோன்றுகிறது. அதற்கு மேற்பட்ட வெப்பநிலைகளில், வெளிக் காந்தப்புலமேதும் இல்லாதபோது நிகர காந்தமாக்கம் இருப்பதில்லை. மாறுநிலை வெப்பநிலையை அணுகும்போது மூலக்கூறுகளின் தற்சுழற்சிகள் சிறிது சிறிதாக ஒரு முகப்பட்டு ஒழுங்கு நிலை அதிகரிப்பதால் M ஒழுங்களவு எனப்படுகிறது. ஒரு பாய்ம அமைப்பில் $(P_t - P_v) / P_c$ என்பது ஒழுங்களவு . இங்கு P_t, P_v, P_c ஆகியவை முறையே நீர்மநிலை, வளிநிலை, மாறுநிலை ஆகியவற்றில் அமைப்பின் அடர்த்திகள். இந்த ஒழுங்களவும், நிகர காந்தமாக்கத்தைப் போலவே வெப்பநிலையைச் சார்ந்திருக்கிறது. மாறுநிலை வெப்பநிலைக்கு மேற்பட்ட வெப்பநிலைகளில் ஒழுங்களவுகள் மடிவிதி இயல்புகளை மேற்கொள்கின்றன. $t = (T - T_c) / T_c$ எனும் குறைக்கப்பட்ட வெப்பநிலை என்ற அளவு சுழியைவிடக் குறைவாயிருக்கும்போது ஒழுங்களவு $B(-t)^{\beta}$ என்ற மதிப்பை உடையதாகவும், t சுழியை விடப் பெரியதாயிருக்கும்போது அது சுழியாகவும் ஆகிறது. இங்கு β என்பது மாறுநிலை மடி எனப்படும். B என்பது ஒழுங்களவின் வீசு எனப்படும். மாறுநிலைப் புள்ளிக்கு அருகில் மற்ற வெப்பவியக்கவியல் உண்டாகிற முரண்பட்ட நடத்தைகளையும் மடி விதிகளின் மூலம் குறிப்பிட முடியும். ஒவ்வொன்றுக்கும் β வைப் போலவே $\alpha, \gamma, \delta, \upsilon, \eta$ எனும் மாறுநிலை மடிகள் உள்ளன. α விரிவடையும் வெப்ப ஏற்புத்திறனையும், η காந்தங்களின் காந்த ஏற்புத்திறன், வளிகளின் வெப்பநிலை மாறா இறுக்கத்தையும், δ மாறுநிலை மாறா வெப்பநிலைக் கோட்டையும், υ சக உறவுக்கோட்டு நீளத்தையும், η மாறுநிலை சக உறவு சார்பையும் விவரிக்கின்ற மாறுநிலை மடிகள்.

42 மீச்சிறு செயலளவுத் தொகைக் கோட்பாடு (Principle of least action)

இது இயக்கவியலின் ஒரு தலையாய கோட்பாடாகும். இதன்படி, ஓர் அமைப்பின் இயல்பான (அல்லது உண்மையான) இயக்கத்தின்போது

$$S = \int_{t_1}^{t_2} L((q), (\dot{q}), t)\, dt$$

என்ற செயலளவுத் தொகை மீச்சிறு மதிப்புடையதாகவே அமையும். (t_1, t_2) என்ற காலவரையிடையில் இயல்பான இயக்கத்தினின்று மாறுபட்ட எந்த ஒரு கற்பனையான இயக்கப் பாதையை எடுத்துக் கொண்டாலும் அப்பாதைக்குரிய S- இன் மதிப்பு அதன் சிறுமதிப்பை விடக் கூடவே இருக்கும். மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் L என்பது லக்ராஞ்சு சார்பு (லக்ராஞ்சியன்) ஆகும். (q), $(\dot{q})$ என்பவை முறையே அமைப்பின் பொது ஆயங்களையும் அவற்றின் வேகங்களையும் குறிக்கின்றன. விலக்கியற் கணிதத்தின் மூலம்

இக்கோட்பாட்டிலிருந்து லக்ராஞ்சு மற்றும் ஹெமில்ட்டன் இயக்கச் சமன்பாடுகளைத் தருவிக்கலாம். இயக்கவியலில் மட்டுமன்றிப் பல்வேறு அறிவியல் துறைகளிலும் இத்தகைய கோட்பாடு மிகவும் அடிப்படை நெறிமுறையாக இருக்கிறது.

43 மீப்பண்பொத்த கூட்டமைப்பு (Grand canonical ensemble)

ஒரே வெப்பநிலை, பருமன், வேதியியல் அழுத்தம் ஆகிய மதிப்புகளை உடைய பல்வேறு அமைப்புகளின் தொகுதி மீப்பண்பொத்த கூட்டமைப்பு எனப்படும். ஆற்றல் பரிமாற்றம் மற்றும் துகள் பரிமாற்றம் இரு அமைப்புகளுக்கு இடையே நிகழும். தனித்தனித் துகள் தொகுதிகள் உறுதியான இரட்டை வெப்பச்சுவர்களால் பிரிக்கப்பட்டு இருக்கும். T வெபபநிலையையும், V பருமனையும், μ வேதியியல் அழுத்தத்தையும் குறிப்பிடுகின்றன. மீப்பண்பொத்த கூட்டமைப்பைக் காட்ட கீழ்க்கண்ட படம் உதவும்.

T, V, μ	T, V, μ	T, V, μ
T, V, μ	T, V, μ	T, V, μ
T, V, μ	T, V, μ	T, V, μ

இக்கூட்டமைப்பில் உள்ள தனித்தனி அமைப்புகள் ஒன்றையொன்று சார்ந்து இருப்பதில்லை. சுவர்கள் வழியாக வெப்ப ஆற்றல் பரிமாற்றம் செய்து கொள்ளப் படுவதால் T என்ற பொது வெப்பநிலையை எல்லா அமைப்புகளும் அடைந்து ஒரு சமநிலை ஏற்படுகிறது. வெப்பநிலை சமமாவதால் வேதியியல் அழுத்தமும் சமமாகிறது. துகள் பரிமாற்றமும் சுவர் வழியாகவே நிகழும்.

44 மைய விசை இயக்கம் (Central force motion)

மைய விசை என்கிற விசை எப்பொழுதும் நிலையான மையத்தை நோக்கி, அல்லது நிலையான மையத்திற்கு வெளியே செயற்படும். அதன் மதிப்பு, நிலையான தொடககத்திலிருந்து (origin) கணக்கிடப்படும்; அது தூரத்தை மட்டுமே சார்ந்துள்ளது. எடுததுககாட்டாக, ஈர்ப்பு விசை இரண்டு பருப்பொருட்களுக்கு இடையேயான

$$\vec{F} = -(k/r^2)\frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$$

என்று இருப்பதைக் காணலாம். மையவிசை இயக்கத்தின் ஒரு சிறப்புப் பண்பு, கோண உந்தத்தின் அழிவின்மையும் ஆகும்:

$$\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{V} = \text{மாறிலி.}$$

கோண உந்தம ($\vec{L}$) எப்பொழுதும் $\vec{r}$-க்கும், $\vec{V}$-க்கும் நேர்குத்துக் கோட்டில் இருக்கும். $\vec{L}$ மாறிலியாக இருப்பதால் $\vec{r}$ம், $\vec{V}$-யும் ஒரே தளத்தில் இருக்கும். அதாவது, கோண உந்தத்தின் நிலையான திசைக்குச் செங்குத்தாகச் சுற்றுப்பாதை இருக்கிறது. கெப்ளரின் கோளியக்கத்தின் இரண்டாவது விதிக்கு இதுவே அடிப்படையாகும்.

45 லியாவில்லித் தேற்றம் (Liouville's theorem)

புள்ளியியல் எந்திரவியலில் லியாவில்லித் தேற்றம் ஓர் அடிப்படை தேற்றமாகும். புள்ளியியல் எந்திரவியல் பல துகள்களைக் கொண்டுள்ள தொகுப்புகளின்

முழுத்திறனைபெற விழைவதில்லை. மாறாக, பற்பல ஒரே மாதிரியான (identical) தொகுப்புகளின் இயக்கங்களை ஆராய்வதே அதன் முக்கிய நோக்கமாகும். குறிப்பாக, புள்ளியியல் எந்திரவியலானது குறிப்பிட்ட சில சராசரிப் பண்புகளைப் பற்றிய அனுமானங்களைக் கண்டறியப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஒவ்வொரு தொகுப்பினையும் கட்ட வெளியில் (phase space) ஒரு புள்ளி மூலம் குறிப்பிடலாம்.

லியாவில்லித் தேற்றத்தின்படி, கொடுக்கப்பட்ட ஒரு தொகுப்பிற்கு அருகாமையில் உள்ள தொகுப்புகளின் அடர்த்தியானது கட்ட வெளியில் எந்த நேரத்திலும் ஒரே மாதிரியாக இருக்கும்.

46 வட்ட ஆயங்கள் (Cyclic coordinates)

லக்ரான்ஜியன் L-ஐ, $q_i, \dot{q}_i$ ($q_i, \dot{q}_i$ -ன் நேர வகைக்கெழு) சார்பாக எழுதலாம். இதில் எந்தக் கூறாவது - எடுத்துக்காட்டாக, q_k லக்ராஞ்சியன் கோவையில் தோன்றாமல் இருந்தால், q_k தொடர்பான லக்ராஞ்சியனின் பகுதி வகைக்கெழு அற்றுப்போகும். அதாவது $(\partial L/\partial q_k) = 0$. ஆதலால் q_k–ன் தொடர்பாக இயக்கச் சமன்பாடு

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k}\right) = 0$$ என அமையும்.

மேற்கண்ட சமன்பாட்டின் தொகையீட்டைக் கண்டால் (integration)

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} = p_k = \text{மாறிலி.}$$

ஆகையால் q_k என்ற கூறு லக்ராஞ்சியனில் தோன்றாமல் இருக்கும்போது, அதன் சார்பான நீள்உந்தம் p_k மாறாமல் இருக்கும். அப்படிப்பட்ட ஒரு கூறை வட்ட ஆயம் எனலாம். அதாவது, இதுதான் இயக்கத்தின் முதல் தொகையீடு ஆகும் (first integral). மற்றும், லக்ரான்சியனில் ஒரு மாற்றமும் இல்லாமல், தொகுதியை q_k வழியாக நேர் பயிற்சி செய்யலாம். ஆகையால், நேர்பயிற்சியில், இந்தத் தொகுதி மாற்றமில்லாமல் இருக்கும். சுழற்சிக்கும் இது பொருந்தும். ஒரு தொகுதியின் நேர்பயிற்சி அல்லது சுழற்சி அந்தத் தொகுதியை மாற்றாமல் இருந்தால், அதன் சார்பான கூறுகளை வட்ட ஆயங்கள் என்கிறோம். வட்ட ஆயங்கள், நேரத்தின் நேர்கோட்டுச் சார்பங்களாகும் (linear function of time).

47 வான நிலையியக்கவியல் (Celestial Mechanics)

நிலையியக்கவியலில், ஒரு துகளின் மீது தாக்கும் விசை, தூரத்திற்கு எதிர் தகவில் இருந்தால் பல பயனுள்ள முடிவுகள் தோன்றும். அப்புள்ளி, விசையின் ஆதாரத்தைச் சுற்றி வட்டமாகவோ, நீள்வட்டப் பாதையிலோ (elliptical) செல்லும். இப்பாதை ஒரு சமதளத்தில் இருக்கும். சூரியனைச் சுற்றிக் கோள்கள் நீள்வட்டப் பாதையில் செல்கின்றன. சூரியனுக்கும் கோளுக்கும் இடையே உள்ள ஈர்ப்புவிசை அவைகளுக்கு இடையே உள்ள தூரத்தின் இருபடிக்கு எதிர் தகவில் $(F \alpha (1/r^2)$ இருக்கும். எனவே கோள்களின் பாதை, அவை சூரியனைச் சுற்றி வர எடுக்கும் நேரம் இவற்றை நிலையியக்கவியல் சமன்பாடுகள் மூலம் நிர்ணயிக்க இயலும். மேலும் பூமியிலிருந்து செலுத்தப்படும் செயற்கைக் கோள்களின் பாதை, அவை சுற்றி வரும் நேரம் போன்றவற்றையும் இச்சமன்பாடுகளால் அறிய முடியும். கோள்களின் போக்கை, நிலையியக்கவியல் சமன்பாடுகள் வாயிலாக அறியப்படும் முறைக்கு 'வான நிலையியக்கவியல்' என்று பெயர்.

48 விலக்கி ஆய்தல் நெறிமுறைகள் (Variational principles)

பொருளமைப்புகளின் இயக்கச் சமன்பாடுகள், மற்றும் அவற்றின் சமநிலைகளுக்கான கட்டுப்பாடுகள் ஆகியவற்றைச் சில பொதுவான நெறிமுறைகளின் மூலம் அறியலாம். இவையே விலக்கி ஆய்தல் நெறிமுறைகள் எனப்படும். இந்நெறிமுறைகள் ஓர் அமைப்பின் இயல்பான இயக்கங்கள் அல்லது நிலைகள், அதன் பல்வேறு கட்டுப்பாடுகளால் அனுமதிக்கப் பெற்ற, நேரக்கூடிய இயக்கங்களிலிருந்தோ அல்லது நிலைகளிலிருந்தோ, எவ்வாறு மாறுபடுகின்றன என்பதைச் சுட்டிக் காட்டுகின்றன. இந்நெறிமுறைகள் இருவகைப்படும்: (1) வகையீட்டு முறை; (2) தொகையீட்டு முறை.

முதல்வகை ஒவ்வொரு கணத்திலும் ஓர் அமைப்பின் இயக்கம் அல்லது நிலை, அதனில் நேரக்கூடிய மற்ற இயக்கங்கள் அல்லது நிலைகளிலிருந்து எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதைக் காட்டுகின்றது. இரண்டாவதுவகை ஒரு குறிப்பிட்ட கால அளவில் ஓா அமைப்பின் இயக்கம் எவ்வாறு மற்ற நேரக்கூடிய இயக்கங்களிலிருந்து மாறுபடுகிறது என்பதைக் காட்டுகிறது. முதல் வகை நெறிமுறைக்கான எடுத்துக்காட்டு கற்பனைப் பணி அளவு நெறிமுறை அல்லது கற்பனை இடப்பெயர்ச்சி நெறிமுறை ஆகும். இந்நெறிமுறையின்படி ஓர் அமைப்பின் சமநிலைக்குத் தேவையான, போதுமான, கட்டுப்பாடு அப்பொருளின்மீது ஏற்றப்படும் கற்பனையான இடப் பெயர்ச்சிகளாலான பணி அளவுகளின் கூட்டுத்தொகை சுழியாக இருக்க வேண்டும் என்பதே. இதே போன்றதுதான் டிஆலம்பர்சியன்(D'Alembirtian) கோட்பாடு என்பதும். இதன்படி ஓர் அமைப்பின் இயல்பான இயக்கத்தின்போது ஒவ்வொரு கணத்திலும் கற்பனையான இடப்பெயர்ச்சிகளுக்குரிய பணி அளவுகளின் கூட்டுத் தொகை சுழியாகும். இக்கோட்பாட்டிலிருந்து லாக்ரேஞ்சு இயக்கச் சமன்பாடுகளை அடையலாம். இரண்டாம் வகை நெறிமுறைக்கான எடுத்துக் காட்டு ஹெமில்ட்டன் கோட்பாடு ஆகும். இதன்படி ஓர் அமைப்பின் t_1 என்ற கணத்திலிருந்து t_2 என்ற கணம் வரையிலான இயல்பான இயக்கம் அதன் செயலளவுத் தொகை

$$S = \int_{t_1}^{t_2} L\,dt$$

ஓர் எலலை அளவினதாக இருக்கும் என்பதே. அதாவது, $\delta S = 0$ என்று இருக்கும். இககோட பாட்டிலிருந்து லாக்ரேஞ்சு மறறும் ஹெமில்ட்டன் இயக்கச் சமன்பாடுகளை அடையலாம.

49 ஹெமில்ட்டோனியன் (Hamiltonian, H)

இயக்கத்தில் உள்ள ஒரு தொகுப்புக்கு இயக்க ஆற்றல் T, நிலை ஆற்றல் V, என இருவகை ஆற்றல்கள் உண்டு. ஒரு தொகுப்பின் பொதுமை ஆயங்கள் (q_i, p_i, t) எனக் கொண்டால் $\sum p_i q_i - T + V$ என்ற கோவை அத்தொகுப்பின் ஹெமில்ட்டோனியன் H(q, p, t) எனப்படும். ஹெமிலடடோனியன் H, அவ்வியக்கத்தின் மாறிலியாகும். நிலையாற்றல், நிலைஆயங்களை (q_i) மட்டும் சார்ந்திருக்கும்போது, ஹெமில்ட்டோனியன் அத்தொகுப்பின் மொத்த ஆற்றல் ஆகும்.

ஹெமில்ட்டோனியன் H மூலமாக ஒரு தொகுப்பின் இயக்கத்தை

$$\frac{\partial H}{\partial q_k} = -\dot{p}_k; \qquad \frac{\partial H}{\partial p_k} = \dot{q}_k$$

என்ற சமன்பாடுகளைக் கொண்டு விவரிக்கலாம். ஹெமில்ட்டோனியன், லக்ராஞ்சியனைப் போலல்லாமல் பொதுமை ஆயங்களான நிலை ஆயங்களையும், உந்த ஆயங்களையும் சார்ந்திருக்கிறது. சில உந்த ஆயங்கள் இயக்கத்தின் மாறிலிகளாக ஆகிவிட வாய்ப்பு இருப்பதால், தீர்வு காண்பது எளிதாகிறது.

50 ஹெமில்ட்டன் பாதை நிர்ணய தத்துவம் (Hamilton's variational principle)

ஒரு தொகுப்பின் கண அமைவு (n) பொதுமை ஆயங்களால் (q_i) விவரிக்கப்படுகிறது. இக்கண அமைவை (q_n களை) ஆய அச்சுக்களாகக் கொண்ட n உருவளவை கார்டீசியன் கூர்உணர்வெளியில் ஒரு புள்ளியாகக் கருதலாம். இந்த n உருவளவு வெளி, 'அமைவு வெளி' எனப்படுகிறது. தொகுப்பின் நிலை, காலத்துடன் மாறும். தொகுப்புப் புள்ளி அமைவு வெளியில் நகரும்போது ஏற்படுத்தும் வளைகோடு அத்தொகுப்பின் இயக்கப்பாதை எனப்படும். ஒரு தொகுப்பு, அமைவு வெளியில் t_1 நேரத்தில் A என்ற புள்ளியிலும், t_2 நேரத்தில் B என்ற புள்ளியிலும் அமையுமானால், A என்ற புள்ளியிலிருந்து B என்ற புள்ளியை அடைய, எண்ணற்ற அமைவு வெளி இயக்கப் பாதைகள் இருப்பினும், அத்தொகுப்பு ஒரு குறிப்பிட்ட பாதையிலேயே செல்கின்றது. அக்குறிப்பிட்ட பாதையைக் காண உதவுவது ஹெமில்ட்டன் பாதை நிர்ணயத் தத்துவம்.

ஹெமில்ட்டன் பாதை நிர்ணயத் தத்துவத்தின்படி எந்த ஒரு பாதையில் தொகுப்பு நகர்கிறதோ அந்தப் பாதையில் கோட்டுத் தொகையீடு (line integral)

$$I = \int_{t_1}^{t_2} L\,dt \text{ - ன் அளவு}$$

இதில் L = T - V என்பது லக்ராஞ்சியன் ஆகும். அதாவது, நேர்கோட்டுத் தொகையீட்டின் மாற்றம்

$$\delta I = \delta \int_{t_1}^{t_2} L\,dt = 0 \text{ எனவு ம் கொள்ளலாம்.}$$

51 ஹெமில்ட்டன் – ஜெகோபி சமன்பாடு

ஒரே தொகுப்பைப் பல்வேறு பொதுமை ஆயங்களின் கணங்களால் விவரிக்கலாம். அவற்றில் (q_1, q_2, ..., q_N, t) என்பதை ஒரு கணமாகவும், (Q_1, Q_2, ..., Q_N, t) என்பதை மற்றொரு கணமாகவும் கருதினால் இந்த இரு கணங்களுக்கிடையே,

$$Q_1 = Q_1 \{ q_1, q_2, ..., q_N, t\}$$

என்பது போன்ற தொடர்பு இருந்தால், மேற்கூறிய சமன்பாட்டைத் 'தொடர்பு மாற்றுச் சமன்பாடு' எனலாம். இந்த மாற்றத்திற்கு உட்படுத்தும்போது அத்தொகுப்பின் ஹெமில்ட்டோனியன் H (q, p, t), K(Q, P, t) என்ற புதிய ஹெமில்ட்டோனியன் ஆக மாறுவதாகக் கொள்வோம். இவற்றுக்கிடையே $K = H + (\partial F/\partial t)$ என்ற தொடர்பு இருக்கிறது. இதில் F என்ற ஆக்கச் சார்பம் (generating function) அனைத்து P_i களும் மாறிலிகளாக அமையுமாறு தெரிவு செய்யப்படுகிறது. அவ்வாறு தெரிவு செய்யும்போது இந்த ஆக்கச் சார்பம் S என்று குறிப்பிடப்பட்டு ஹெமில்ட்டோனின் தனிச்சிறப்புச் சார்பம்' (Hamilton's characteristic function) என்றழைக்கப்படுகிறது. ஆகவே மேலும் பு திய ஹெமில்ட்டோனியன் K என்பதை ஆற்றல் அளவின் தொடக்க மதிப்பாகக் கருதி, K சழி ஆக்கப்படுகிறது. அதாவது, $H + (\partial S/\partial t) = 0$. இந்தச் சமன்பாடு ஹெமில்ட்டன்–ஜெகோபி சமன்பாடு எனப்படுகிறது.

திண்ம நிலை இயல்பியல்

Solid State Physics

52 அடிப்படை (Basis)

படிகங்களில் அடிப்படைத் தொகுதி என்பது முழுவதும் ஒத்த இயைபுகள், ஒழுங்கமைப்புகள், உகப்புநிலை (orientation) ஆகியவைகளைக் கொண்ட ஒரு கூட்டமைப்பாகும். ஒவ்வொரு அணிக்கோவைப் புள்ளியுடனும் (lattice point) அணுக்களின் அடிப்படை இணைந்து படிக அமைப்பு உருவாகின்றது. அணிக்கோவை + அடிப்படை = படிக அமைப்பு.

53 அணு ஆரங்கள் (Atomic radii)

ஒரு தூய மூலகத்தின் படிகத்தில், அடுத்தடுத்த அணுக்களுக்கிடையேயுள்ள தூரத்தின் பாதி அணு ஆரம் என வரையறுக்கப்படுகிறது. X–கதிர் விளிம்பு விளைவு முறைப்படி படிகங்களின் அணு ஆரங்களைத் துல்லியமாக அளவிடலாம். ஆனால் ஓர் அணு அல்லது அயனியின் ஆரத்திற்குத் தகுந்த ஒரு பொருளைக் கொடுக்க இயலாது. ஒரு அணுவைச் சுற்றியுள்ள மின்னூட்டப் பகிர்வு ஒரு திடக் கோளக எல்லைக்குள் இருப்ப தில்லை. எடுத்துக்காட்டாக, சோடியம் அணுவின் ஆரஅளவு அது தனித்துள்ளதா அல்லது உலோகத்தில் உள்ளதா, அல்லது அயனிப் படிகத்தில் உள்ளதா என்பதைச் சார்ந்துள்ளது. உலோகச் சோடியத்தில், சோடியத்தின் ஆரம் 1.86Å எனக் கொள்ளலாம். இது அடுத்தடுத்த அணுக்களுக்கிடையே உள்ள தூரம் 3.76Åல் பாதியாகும். F_2-வாயுவில், எலக்ட்ரான் விளிம்பு விளைவு ஆய்விலிருந்து, F – F அணுக்களுக்கிடையே உள்ள தூரம் 1.44 Å என அளவிடப்பட்டது. இதில் பாதி 0.72 Å ஆகும். இவ்விரு ஆரங்களையும் கூட்ட Na-F பிணைப்பின் நீளம் (1.86 + 0.72) 2.58 Å கிடைக்கிறது. ஆனால் சோதனை மூலம் கிடைத்த தூரம் 2.32 Å ஆகும். இதிலிருந்து சராசரி அணு ஆரம் கணக்கிடுவது துல்லியமானதல்ல என்பது தெரிகிறது.

அணு ஆரத்தினை அணிக்கோவை அளபுருவில் (lattice parameter) தரலாம். அணிக்கோவை அளபுரு a–எனக் கொள்வோம்.

sc எளிய கனசதுர (simple cubic) படிகத்தின் அணு ஆரம், $r = a/2$ = அணிக்கோவைஅளபுருளவில் பாதி, fcc முகமைய கனசதுர (face centred cubic) படிகத்தின் அணு ஆரம், $r = (1/2\sqrt{2}) \times a = (1/2\sqrt{2})$ மடங்கு அணிக்கோவை அளபுரு, bcc உருவமைய கனசதுரம் (base centred cubic) படிகத்தின் அணு ஆரம், $r = (\sqrt{3}/4) \times a = (\sqrt{3}/4)$ மடங்கு அணிக்கோவை அளபுரு.

54 அணுக்கரு நான்முனைவு ஒத்ததிர்வு (Nuclear quadrupole resonance)

ஓர் அணுக்கருவின் தற்சுழற்சி (spin) அளவு ஒன்று அல்லது அதற்கு மேம்பட்டிருந்தால் அக்கரு மின் நான்முனைவுப் பாயத்தை (quadrupole moment) கொண்டுள்ளது எனக் கூறலாம். இது கருவிலுள்ள மின்சுமை எவ்வளவு தூரம் நீள்வட்ட அமைப்பில் பரவிக் கிடக்கிறது என்பதைப் பொறுத்துள்ளது. முட்டை வடிவக் கரு நேர் மதிப்பையும், சாசர் வடிவக் கரு எதிர் மதிப்பையும் கொண்டிருக்கிறது, அந்தக் கரு ஒரு படிகத்தில் இருக்கும் போது மின் புலத்தின் (electrostatic field) சுற்றுப்புறத்தைப் பார்க்க முடியும். மின்புலத்தினுடைய சமச்சீர், கனசதுரத்தின் சமச்சீரைவிடக் குறைவாக இருந்தால், நான்முனைவுப் பாயம் கருவின் மின் புலத்துடன் குறுக்கு வினை புரியும். இதனால் கரு பலவகையான ஆற்றல் நிலைகளாகப் பிரியும். கருவின் தற்சுழற்சி I ஆக இருந்தால், ஆற்றல் நிலை (I+1) எனப் பிரியும். இந்நான்முனைவுப் பிரிதலை நேரிடையாகவே அறியலாம். ஏனெனில், காந்தப்புலத்தினுடைய சரியான அதிர்வெண் ஆற்றல் மட்டங்களைப் பிரிப்பதற்குக் காரணமாக இருக்க முடியும். இவ்வகையான பிரித்தல் சகப்பிணைப்பு (covalent bond) மூலக் கூறுகளில் இருக்கிறது.

எ.கா. குளோரைடு (Cl_2), புரோமைடு (Br_2), அயோடைடு (I_2).

55 அணிக்கோவை வகைகள் (Lattice types)

14 அணிக்கோவை வகைகள் தனித்தன்மை வாய்ந்தவை என்பதை பிரேவெய்ஸ் என்பவர் காட்டியுள்ளார். அவை: 1. ட்ரைகிளினிக் (triclinic), 2. மானோ கிளினிக் (monoclinic), 3. மானோ கிளினிக் அடிமையங் கொண்டது (monoclinic base centred), 4. ஆர்தோ ராம்பிக் எளிமை (ortho rhombic simple), 5. ஆர்தோ ராம்பிக் அடிமையங் கொண்ட து (ortho rhombic base centred), 6. ஆர்தோ ராம்பிக் உருவமையங் கொண்டது (orthorhombic body centred), 7. ஆர்தோ ராம்பிக் முகமையங் கொண்டது (orthorhombic face centred), 8. அறுகோணவியலானது (hexegonal), 9. சாய்சதுரவியலானது (rhombohedral or trigonal), 10. நாற்கோணவியலான எளிமை (tetragonal simple), 11. நாற்கோணவியலான உருவ மையங் கொண்டது (tetragonal body centred), 12. கனசதுரவடிவானது (cubic), 13. கனசதுரவியலான உருவ மையங் கொண்டது (body centred cube), மற்றும் 14. முகமையங் கொண்ட கனசதுர வடிவானது (face centred cube).

56 அணிக்கோவை வெப்ப ஏற்புத்திறன் (Lattice heat capacity)

திண்மப் பொருட்களின் வெப்பநிலை அதிகமாகும்போது அணுத் துகள்களின் அதிர்வாற்றல் அதிகமாவதால் உள்ளாற்றலும் அதிகமாகிறது. பருமன் மாறாமல் இருக்கும்போது, வெப்பநிலையைச் சார்ந்து உள்ளாற்றல் மாறுபடும் தகவினை வெப்ப ஏற்புத்திறன் என்பர். அதாவது

$$\text{வெப்ப ஏற்பு த்திறன் } C_V = \left(\frac{dU}{dT}\right)_V.$$

உள்ளாற்றல் U, அணிக்கோவை அதிர்வினாலும், எலக்ட்ரான் அதிர்வினாலும் ஏற்படும ஆற்றலாகும். எலக்ட்ரான் அதிர்வு குறைவாதலால், அணிக்கோவை அதிர்வினை அடிப்படையாகக் கொண்டு வெப்ப ஏற்புத்திறனைக் கணக்கிடலாம். சோதனைகள் மூலம் வெபப ஏற்புத்திறன் பறறிய பல உண்மைகள் தெரியவந்தன. அவை

(1) அறை வெப்பநிலை நெடுக்கத்தில் கிட்டத்தட்ட எல்லா ஓரணுத் திண்மப் பொருட்களின் வெப்ப ஏற்புத்திறன் மதிப்பு 25 ஜூல்–மோல்$^{-1}$ - கெல்வின்$^{-1}$ ஆகும்.

(2) தாழ் வெப்பநிலையில் வெப்ப ஏற்புத்திறன் குறைகிறது. இலேசானதும், உயர் உருகுநிலையும கொண்ட தனிமங்களின் வெப்ப ஏற்புத்திறன் குறைவாக இருக்கிறது. மின்நேர் (electropositive) உலோகங்களின் வெப்பநிலை அதிகமாகும்போது, C_V அதிகரிக்கிறது.

பழங் கொள்கைப்படி திண்மப் பொருட்களில் உள்ள அணுக்களைக் கட்டுப்பாடற்ற அலையியற்றியாகக் கொண்டு, மோலார் வெப்ப ஏற்புத்திறன் கணக்கிடப்பட்டது.

$$C_V = \left(\frac{dU}{dT}\right)_V = 3Nk = 3R = 5.96 \text{ கேலரி / மோல் கெல்வின்.}$$

இதனை டியூலாங்–பெட்டிட் விதி என்பர். இவ்விதி அறைவெப்ப நிலையிலும், உயர்வெப்ப நிலையிலும் சரியாக அமைகிறது. ஆனால் தாழ்நிலையில் உள்ள வெப்ப ஏற்புத்திறனுக்கு இவவிதியால் விளக்கம் தரமுடியவில்லை.

57 அயனி ஆரங்கள் (Ionic radii)

கூட்டுப் பொருட்களின் படிக அமைப்பிலிருந்து, கணக்கிடப்பட்ட அயனியிடைத் தூரம் சீராக இருப்பது தெரிய வந்தது. எனவே படிகங்களிலுள்ள அயனிகள் கோளக

வடிவம் கொண்டவையாகும். இவை நெருக்கமாக அமைந்துள்ளன. அளவிடப்பட்ட அயனிடைத் தூரம் இரு அயனிகளின் ஆரங்களின் கூட்டலாகும். ஓர் அயனியின் ஆரம் தெரிந்தால் அடுத்த அயனியின் ஆரத்தைக் கணக்கிடலாம். அயனிகளின் வெளிக்கூட்டில்உள்ள எலக்ட்ரான்கள் விரவலடைவதாலும், அயனிகட்கிடையே விசை செயற்படுவதாலும் அயனிகள் கோளக வடிவம் கொண்டவை என்ற முடிவு சரியானதல்ல. அயனி ஆரம் பட்டறிவு முடிவேயாகும். எனினும் இது அயனிகள் பற்றிய பல உண்மைகளை வெளிக்காட்டுகிறது.

(1) அயனியின் அணு எண் (Z) அதிகமாகும்போது, அயனி ஆரம் அதிகமாகிறது.

(2) சமமான எலக்ட்ரான் கொண்ட நேர் அயனியின் நேர் மின்னூட்டம் அதிகமாகும்போது, ஆரம் குறைகிறது.

(3) எதிர் மின் அயனிகளின் எதிர் மின்னூட்டம் அதிகமாகும்போது, ஆரமும் அதிகரிக்கிறது.

(4) அயனி ஆரங்களின் அளவு அயனி தோன்றும்போது ஏற்படுகின்ற எலக்ட்ரான் இழப்பு அல்லது அதிகரிப்பினைச் சார்ந்தது.

அயனியிடைத் தூரம் D–ஐ, $D_N = R_C + R_A + \Delta_N$ என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம். இதில் N என்பது அணைப்பு எண் (coordination no.) ஆகும். R_C, R_A என்பன முறையே நேர் மற்றும் எதிர்மின் அயனிகளின் படித்தர ஆரங்களாகும். Δ_N என்பது அணைப்பு எண்ணின் திருத்தமாகும். அயனிகளைப் பற்றி அறிவதற்கு அவற்றின் ஆரங்கள் பயன்படுகின்றன

58 அயனிப் படிகம் (Ionic crystal)

நேர்மின் மற்றும் எதிர்மின் அயனிகளால் உருவான படிகத்தை அயனிப் படிகம் என்பர். உலோக அணுக்கள் அவற்றின் கடைசிக் கூடு எலெக்ட்ரான்கள் முழுவதையும் (ஏறத்தாழ) அவற்றின் எதிரிணை உலோகமல்லாதவற்றுக்குக் கொடுக்கின்றன. இதனால் இவ்விரு உலோக, உலோகமல்லாத அணுக்களும் அயனிகளாக மாறி மந்த வாயுக்களின் எலெக்ட்ரான் கூட்டமைப்பைப் பெறுகின்றன. எடுத்துக்காட்டாக, லித்தியம் புளூரைடு (LiF) படிகத்தை எடுத்துக் கொள்வோம். லித்தியம் மற்றும் புளூரின் அணுக்களின் எலெக்ட்ரான் கூறுகள்: Li: $1s^2 2s$; F: $1s^2 2s^2 2p^5$ ஓரலகு அயனிகளான Li^+, F^- ஆகியவற்றின் எலெக்ட்ரான் கூறுகள் $Li^+ : 1s^2$; $F^- : 1s^2 2s^2 2p^6$. Li^+ - அயனி ஹீலியம் போன்றும், F^- அயனி நியான் போன்றும் எலெக்ட்ரான் கூட்டமைப்புகளைப் பெறுகின்றன. மந்த வாயுக்கள் முற்றுப் பெற்ற எலெக்ட்ரான் கூடுகளைக் கொண்டவை. எனவே அவற்றின் மின்னூட்டப் பங்கீடுகள் கோளகச் சமச்சீர் உடையவையாக இருக்கும். ஆனால் இரு அயனிகள் ஒன்றை யொன்று நெருங்கும்பொழுது அந்த மின்னூட்டப் பங்கீடுகளில் சிறிது உருக்குலைவு ஏற்படலாம். மிகவும் பழக்கத்திலுள்ள மற்ற அயனிப் படிகங்கள் பொட்டாசியம் குளோரைடு, கால்சியம் புளூரைடு போன்றவையாகும்.

இரு அயனிகளுக்கிடையேயான குறைந்த இடைவெளியில் ஏற்படும் விலக்கு விசைக்கு (repulsive force) சமமான உறுதியான ஈர்ப்பு விசையை (attractive force) எந்தப் படிக அமைப்புக் கொடுக்கிறதோ, அந்த அமைப்பில் அயனிகள் சீராகப் படிந்து கொள்ளும். அயனிகளுக்கு இடையேயான விலக்கு விசை மந்த வாயு அணுக்களினிடையே ஏற்படும் வாண்டர் வால் விசையைப் போன்றதே. இது மொத்த ஆற்றலில் நூற்றில் ஒன்று அல்லது இரண்டு பங்கேயாகும். பெரும்பங்கு ஆற்றல் நிலைமின் ஈர்ப்பு விசையால் (electrostatic force) ஏற்படுவதாகும். இது 'மெடுலங் ஆற்றல்' (Madelung energy) என்று அழைக்கப்படுகிறது.

59 அருமண் அயனிகள் (Rare - earth ions)

ஒரே வேதியல் பண்புகளைப் பெற்றுள்ள 58 முதல் 71 வரை அணு எண்கள் கொண்ட 14 உலோகத் தனிமங்களின் அயனிகளுக்கு அருமண் அயனிகள் என்று பெயர். தனிம வரிசை அட்டவணையில், இவற்றின் இடத்தைப் பொறுத்து இத்தனிமங்கள் லாந்தனைடுகள், அல்லது, லாந்தனான்கள், அல்லது, 4f தனிமங்கள் என்று அழைக்கப்படுகின்றன.

இன்றைய அணுக் கொள்கையும் சோதனைகளும், இணைதிறன் மூன்று கொண்டுள்ள அருமண் அயனிகள் (trivalent rare-earth ions) ஒவ்வொன்றின் அணு எலக்ட்ரான் அமைப்பும் செனான் உள்ளகங்களாலும் (Xenon core). கூடுதல் எலக்ட்ரான்கள் 4f துணைக் கூட்டை அடைகின்றன என்பதையும் காட்டுகின்றன.

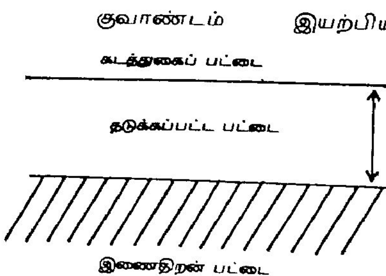
லாந்தனமும், இணைதிறன் மூன்று உள்ள அருமண் அயனிகளும், ஒத்த மின்னூட்டங்களையும் ஒத்த புற எலெக்ட்ரானியல் கட்டமைப்புகளையும், ஏறக்குறைய, ஒரே ஆரங்களையும் பெற்றுள்ளன. இதனால், இவற்றின் வேதியல் குணங்கள் ஒன்றாகவே உள்ளன.

அருமண் அயனிகளின் காந்தத்தன்மை கொள்கை அளவில் சிறப்பு வாய்ந்ததாகும். செனான் எலக்ட்ரானியல் கட்டமைப்புக் கொண்டு, இணைதிறன் மூன்று உள்ள லாந்தனம், இணையற்ற எலக்ட்ரான்களைக் (unpaired electrons) கொண்டுள்ளதால், டையா காந்தமாக உள்ளது. இதே காரணத்தினால், லுட்டீசியம் (பதினான்கு 4f எலக்ட்ரான்கள்), ஓய்ட்டர்பியம் (பதினான்கு 4f எலக்ட்ரான்கள்), மேலும் 4f எலக்ட்ரான்களற்ற சீரியம் ஆகியவை டையா காந்தமாகவே உள்ளன. ஏனைய அருமண் அயனிகள் அனைத்தும் பாரா காந்தமாகவே உள்ளன. சில அருமண் அயனிகள், புற ஊதா, கட்புல மற்றும் அகச் சிவப்பு நிறமாலைப் பகுதிகளில் மிகக் கூர்மையான, ஒடுங்கிய உட்கவர் முனைகளை (very sharp narrow absorption peaks) கொடுக்கின்றன.

60 அலகு செல் (Unit cell)

அணுக் குழுவின் அணிக்கோவை வரிசை என்பது ஓர் அடிப்படைத் தொகுதிப் பிரிப்பு (fundamental grouping) ஒழுங்காகத் திரும்பத் திரும்ப (periodic repetition) வருதல் என்பதாகும். $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ என்ற திசையிகளால் வரையரை செய்யப்பட்ட படிகத்தின் ஒரு பகுதியைத் தேர்ந்தெடுத்து மேற்கூறியவாறு முழுப் படிகத்தையும் ஆக்கலாம். இந்தத் திசையிகளின் ஏதாவது ஒரு முழு எண் மடங்குகளினால் (integral multiples) இடம் பெயர்ப்பு (translate) செய்து உருவொத்ததாக (similar) படிகத்தின் ஒரு பகுதியை உருவப்படி (reproduce) எடுக்கலாம். இந்தப் பகுதிதான் அலகு செல் என்றழைக்கப்படுகிறது. அலகு செல் மூல (primitive) செல்லாக இருக்கலாம். ஆனால் எல்லா மூல செல்களும் அலகு செல்களாக இருக்கமாட்டா.

61 ஆற்றல் பட்டைகள் (Energy bands)



குவாண்டம் இயற்பியலின் அடிப்படையில் திடப்பொருட்களில் எலக்ட்ரான்களின் இயக்கம்பற்றி அறிய முனையும்பொழுது, திடப்பொருட்களில் எலக்ட்ரான்கள் குறிப்பிட்ட எல்லைக்குள் அல்லது பட்டைக்குள் உட்பட்ட ஆற்றலையே பெற்றிருக்க முடியும் என்பது தெரிய வருகிறது. இக் குறிப்பிட்ட வரம்புக்குட்பட்ட ஆற்றலின் அமைவே ஆற்றல் பட்டைகள் என அழைக்கப்

படுகின்றன. எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றலுக்கும் அதன் அலைவுதிசைக்கும் இடையேயான வரைபடமே ஆற்றல் பட்டை வரைபடம் என அழைக்கப்படுகிறது. திட்டவரை சார்ந்த ஆற்றல் பட்டையின் வரைபடம் ஒன்று தரப்பட்டிருக்கிறது. இப்பட்டைகளுள் மேல் மட்டத்தில் அமைந்து, அனைத்து எலக்ட்ரான் நிலைகளும் நிரம்பியிருக்கும் பட்டை இணைதிறன் பட்டை (valence band) என அழைக்கப்படுகிறது. இதன் மேல் மட்டத்துக்கு உயரே ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றல் இடைவெளியினுள் எலக்ட்ரான் நிலைகள் இருப்பது சாத்தியமல்ல. இது தடுக்கப்பட்ட பட்டை என அழைக்கப்படுகிறது. இதனைத் தொடர்ந்து மேலே கடத்துகைப் பட்டை அமைந்திருக்கிறது.

திடப்பொருட்களின் மின், காந்த, ஒளி மற்றும் வெப்ப இயல் சார்ந்த பண்பியல்களைக் கணிப்பதற்கு எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல்பட்டை வரைபடம் மிகவும் உதவியாக இருக்கிறது. இவ் வரைபடத்திலிருந்து ஒரு பொருள் உலோகமா, குறைகடத்தியா அல்லது, கடத்தாப் பொருளா என்பதை அறுதியிட்டுக் கூறிவிடலாம். இவ்வரைபடத்திலிருந்து பெறப்படுகிற ஆற்றல் இடைவெளி (band gap) திடப்பொருளின் ஒரு முக்கிய அளபுரு ஆகும்.

62 இடப்பெயர்வு திசையிகள் (Translation vectors)

$\vec{r}' = \vec{r} + u\vec{a} + v\vec{b} + w\vec{c}$ என்ற சமன்பாட்டின்படி, $\vec{r}$ என்ற புள்ளியிலிருந்து நாம பார்க்கும்போது எப்படி இருக்குமோ, அதே போல் ஏதேனும் ஒரு புள்ளி $\vec{r}'$ லிருந்து பார்க்கும்போதும் எல்லாவகையிலும் அணுவின் வரிசை ஒரே மாதிரித்தான் தோற்றமளிக்கும். இங்கு u, v, ஏதேனுமாகிய முழு எண்களாகும். $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ என்பன உருமாதிரி அலகின் மூன்று ஆயத்தூரங்கள். வெளியில் புள்ளிகளின் ஒரு தொடர்ந்த ஒழுங்கான வரிசையே அணிக்கோவையாக உள்ளது. u, v, w முழு எண்களின் சரியான தேர்வுடன் ஒரே மாதிரியாகத் தெரிகின்ற அணு வரிசையிலிருந்து $\vec{r}$, $\vec{r}'$ என்ற ஏதேனும் இரு புள்ளிகள் இருந்தால், அணிக்கோவை மற்றும் இடம்பெயர்வு திசையிகள் $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ ஆகியவை மூல அணிக்கோவை, மூலம் (primitive) என்றழைக்கப்படுகின்றன. அணுக்களின் அடிப்படையிலிருந்து, இதைவிடச் சிறிய கொள்ளளவைக் கொண்ட செல் இருக்க முடியாது எனும் அளவினுக்கு முதல்முதல் இடப்பெயர்வு செய்கின்றது. திசையிகள் இந்த வரையறையை உறுதி செய்கின்றன. பொதுவாக, படிக அச்சுக்களை வரையறை செய்வதற்கு மூல இடப்பெயர்வு திசையிகளே பயன்படுகின்றன.

63 இடமாற்றங்கள் (Dislocations)

இவை படிகங்களில் ஏற்படும் ஒழுங்கான மாற்றம் ஆகும். இவை படிகத்தில் ஒரு நீள நேர்கோட்டில் அமைந்துள்ளன. இடமாற்றம் என்பது இரு வகைப்படும். (i) முனை இடமாற்றம், (ii) திருகு இடமாற்றம். காகிதப் பரப்புக்கு செங்குத்தாக அமைந்துள்ள சீரான அணுக்களின் அமைப்பே விளிம்பு இடமாற்றம் (edge dislocation) எனப்படும். இது 10Å க்கு மேல் நீள்கிறது. இடமாற்றத்திற்கு அருகில் அமைந்துள்ள பரப்பானது உணரக்கூடிய அலைவுகளை உணருகிறது. இது பொதுவான படிக அமைப்புடன் தொடர்புடையது. இடமாற்றம் இல்லாத சூழலில் படிகங்கள் தம் ஒழுங்குத் தன்மையை மீண்டும் அடைகின்றன. ஒரு படிகத்தை வளைத்தலாலோ, அடித்தலாலோ இடமாற்றங்கள் உருவாகின்றன. தூய உலோகங்களின் மென்தன்மையானது இடமாற்றம் மூலமாக உருவாகிறது. தூய்மையற்ற உலோகங்கள் மற்றும் உலோகப் போலிகள் தூய உலோகங்களை விட வலுவானவை. ஏனெனில் மாசுகளும் வழுக்களும் இடமாற்றங்களை நோக்கி ஈர்க்கப்படுகின்றன. எனவே உலோகங்கள் கடினத்தன்மை பெறுகின்றன. தூய உலோகத்தினுடைய மாற்றதிற்குட்பட்ட தன்மையானது அணுவிடை விசைகளினால் தீர்மானிக்கப்படுவதில்லை. ஆனால் அமைப்பு வழுக்களின் (structural defects) மூலம் தீர்மானிக்கப்படுகிறது. 1934ல் டெய்லர், ஓரோவான் என்பவர்கள் இடமாற்றங்கள் படிகங்களில் இருப்பதைக் கண்டறிந்தனர்.

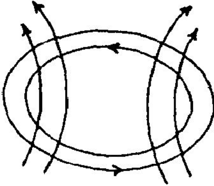
மேலும் போலானி என்பவர் குறிப்பிட்ட உலோகங்களின் படிக வலுவினைக் கண்டறிந்தார்.

64 இடையொழுங்கு (Periodicity)

படிகங்களில், அணுக்கள் ஒழுங்கமைப்பாய்த் தொடர்ந்திருக்கின்றன. எல்லாப் படிகங்களுக்கும் இப்பண்பு அடிப்படைத் தனிச்சிறப்பாகும். படிகங்கள், படிகமற்றவைகள் ஆகியவற்றை வேறுபடுத்திக் காட்டுவது அணுக்களின் ஒழுங்கு வரிசையே. படிகக் கட்டமைப்பின் உருமாதிரி அலகு (representative unit) இந்த வரிசையைப் பெற்றுள்ளது. பொதுவாக இடைவெளிகளில் வெளியில் திரும்பத் திரும்ப மறுபகர்ப்பாக வருவதையே இங்கு வரிசை என்கிறோம். வெவ்வேறு வகைகளில் உருமாதிரி அலகு திரும்பத் திரும்ப வந்து இடையொழுங்கின் அடிப்படைத் தேவைகளை நிறைவு செய்கின்றது. அதாவது, பல்வேறு வகைகளில் குறிப்பிட்ட தொடர்ந்த இடைவெளிகளில் அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகளின் குழுக்கள் திரும்பத் திரும்ப இடம் பெறுவதை இடையொழுங்கு என்கிறோம்.

65 இடைவிடா மின்னோட்டங்கள் (Persistent currents)

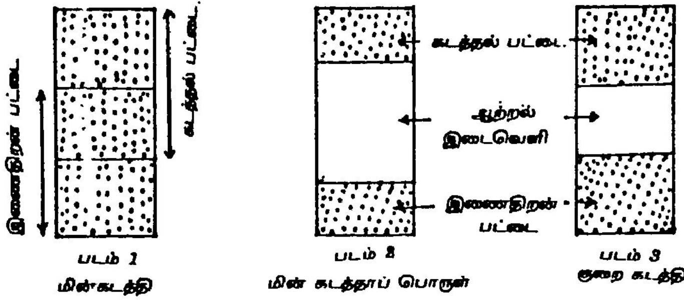
வெப்பநிலை மிகக் குறைவான நிலையில் (3K - 10K) மெர்க்குரி, தாமிரம், தகரம், தால்லியம், ஈயம் போன்ற சில உலோகங்கள், சில உலோகக் கலவைகள் (நியோபியம்–அலுமினியம் போன்றவை) ஆகியவற்றின் மின்தடை (R) சுழியாகின்றது. இந்நிலை மிகுமின் கடத்தும் நிலை எனப்படுகிறது. மிகுமின் கடத்தி வழியே செலுத்தப்படும் மின்னோட்டம் ஏறத்தாழ ஓராண்டுக் காலம் அழிவின்றிப் பாயும். இம்மின்னோட்டம் இடைவிடா மின்னோட்டம் எனப்படுகிறது.



அமெரிக்காவில் M.I.T. ஆய்வுக் கூடத்தில் நடந்த ஆய்வு ஒன்றில் 100 ஆம்பியர் தூண்டு மின்னோட்டம் மிகுமின் கடத்தியாலான வளையம் ஒன்றின் வழியே செலுத்தப்பட, இம்மின்னோட்டம் ஏறத்தாழ ஓராண்டுக் காலம் அழிவின்றிப் பாய்ந்தது. இதிலிருந்து இடைவிடா மின்கடத்தலே ஒரு மிகுமின் கடத்தியின் முதன்மைப் பண்பு எனக் கொள்ளப்பட்டது. இவ்விடைவிடா மின்னோட்டத் துணைகொண்டு செறிவுமிக்க மிகுமின்காந்தப் பாயங்களை உருவாக்கலாம். மேலும் ஆற்றல் இழப்பின்றி பல கிலோமீட்டர் தொலைவுக்கு மின்னோட்டத்தைச் செலுத்தவும் வாய்ப்புள்ளது.

66 இணைதிறன் பட்டை (Valence band)

ஒரு திண்மத்தில் இணைதிறன் எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் நெடுக்கை இணைதிறன் பட்டை எனப்படும். ஓரணுவின் வெளிச் சுற்றுப் பாதையில் அமைந்த எலெக்ட்ரான்கள் இணைதிறன் எலக்ட்ரான்களாகும். பல அணுக்களாலான திண்மத்தில் இவை பல ஆற்றல் மட்டங்களைப் பெற்றிருக்கும். இவ்வாற்றல் மட்டங்களின் நெடுக்கை இணைதிறன் பட்டை எனப்படும். இணைதிறன் பட்டைக்கும் கடத்தல் பட்டைக்கும் இடையே எலக்ட்ரான்களே இல்லாத ஆற்றல் இடைவெளி (energy gap) உண்டு. செம்பு, அலுமினியம் போன்ற நற்கடத்திகளில் இணைதிறன் படடையின் மேறபகுதியும், கடத்தல்பட்டையின் கீழ்ப்பகுதியும் ஒன்றோடொன்று மேற்பொருந்துவதால் (overlap) ஆற்றல் இடைவெளி இல்லை (படம் 1). எனவே மின்கடத்தல் எளிதாகிறது. மரம், கண்ணாடி போன்ற மின் கடத்தாப் பொருள்களில் இணைதிறன் பட்டை எலக்டரான்களால் நிறைந்தும், கடத்தல்பட்டை முழுமையாய்க் காலியாகவும் இருக்கும். ஆற்றல் இடைவெளி மிகுதியாய் இருப்பதால் மின்கடத்தல் இல்லை (படம் 2). ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் போன்ற குறைகடத்திகளில் ஆற்றல் இடைவெளி குறைவு.



படம் 1 மின்கடத்தி — படம் 2 மின் கடத்தாப் பொருள் — படம் 3 குறை கடத்தி

உயர்வெப்ப நிலைகளிலும், மின்புலத்துக்கு உட்படும்போதும் இணைதிறன் பட்டையில் உள்ள எலக்ட்ரான்கள் விடுபட்டு கடத்தல் பட்டையை நோக்கிச் செல்வதால் கடத்தல் ஏற்படுகிறது. (படம் 3)

67 இயலமைப்புக் கூற்றெண் (Structure factor)

ஒரு படிகத்தில் X-கதிர்களின் விளிம்பு விளைவுகளை அப்படிகத்தின் ஓரினக் கூட்டான எதிரிடை அணிக்கோவைத் திசையிகளே (reciprocal lattice vectors) தீர்மானிக்கின்றன. $\vec{r}$ என்ற தூரத்தில் dr என்ற பருமனுள்ள ஆக்கக் கூறுகளிலிருந்து சிதறலுக்குள்ளாகிய X-கதிர்க் கற்றைகளுக்கிடையேயான ஒரே கட்டக் கூற்றெண்களின் (Phase factors) வேறுபாடு $e^{i(\vec{K}-\vec{K'}).\vec{r}}$ ஆகும். சிதறலுக்குள்ளான அலையின் வீச்சு அங்குள்ள எலெக்ட்ரான்களின் திணிவிற்கு (concentration) நேர்த்தகவில் இருக்கும். அதாவது, $n(\vec{r})$ என்பது எலெக்ட்ரான் திணிவு என்றால், $\vec{K'}$ ன் திசையில் சிதறிய அலையின் மொத்த வீச்சானது $n(\vec{r})dv\, e^{i(\vec{K}-\vec{K'}).\vec{r}}$ ன் தொகுப்பிற்குச் சமம். எனவே சிதறல் வீச்சு

$$a = \int dv\ n(\vec{r})e^{i(\vec{K}-\vec{K'}).\vec{r}}.$$

$$a = \int dv n(\vec{r})e^{-i\vec{G}.\vec{r}}.$$

இதில் $\vec{G} = \vec{K'} - \vec{K}$. படிகத்தில் மொத்தம் N ஓரலகுக் கூறுகள் (unitcells) இருக்குமானால் மொத்தச் சிதறல் வீச்சு

$$a_G = N\int_{cell} dv n(\vec{r})e^{-i\vec{G}.\vec{r}} = NS_G$$

S_G - அமைப்புக் கூற்றெண் (structure factor) என்றழைக்கப் படுகின்றது. $\vec{r}$ என்பதை அளவு நிலைமமாகக் கொண்டால், $\vec{r}$ என்ற புள்ளியில் உள்ள அணுவில் எலெக்ட்ரான் திணிவு $n_j(\vec{r}-\vec{r_j})$ என்று வரையறுக்கப்படும். எனவே $\vec{r}$ என்ற இடத்தில் எல்லா அணுக்களினாலும் ஏற்படும் எலெக்ட்ரான் திணிவு கீழ்க்கண்ட கூட்டுத்தொகையாகும்:

$$n(\vec{r}) = \sum_{j=1}^{S} n_j(\vec{r}-\vec{r_j}).$$

இங்கு S என்பது ஒரு அணுக்கட்டில் (basis) உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கையாகும். $\vec{r}-\vec{r_j} = \vec{\rho}$ எனக் கொண்டால்,

$$S_G = \sum_j e^{-i\vec{G}.\vec{r_j}} \int dvn_j(\vec{\rho})\, e^{-i\vec{G}.\vec{\rho}}$$

இதில் $\int dvn_j(\vec{\rho}) e^{-i\vec{G}.\vec{\rho}} = f_j$ என்பது அணு அமைப்புக் கூற்றெண் (atomic form factor) ஆகும்.

$$\vec{G}.\vec{r_j} = (h\vec{A} + k\vec{B} + l\vec{C}).(x_j\vec{a} + y_j\vec{b} + z_j\vec{c}).$$
$$= 2\pi(x_jh + y_jk + z_jl).$$

h, k, l என்பன X-கதிர்களை எதிரொளிக்கும் படிகத்தளத்தின் திசைமுகப்பு நிலையைக் காட்டும் மில்லர் குறியீட்டு எண்கள் (Miller indices). இதன்படி, குறிப்பிட்ட h, k, l - எண்களுக்கான எதிரொலிப்பு X-கதிர்களின் இயலமைப்புக் கூற்றெண்

$$S(hkl) = \sum_j f_j e^{-i2\pi(x_jh + y_jk + z_jl)}.$$

இந்த இயலமைப்புக் கூற்றெண் மெய்யெண்ணாகவும் (real), கலப்பு இணைமாற்று எண்ணாகவும் (complex conjugate) இருக்கலாம். ஆனால் S*S மெய்யெண்ணாகவே இருக்கும். S* என்பது S-ன் கலப்புப் பரிமாற்று. வெளியணிக்கோவையில் (space lattice) அணு மதிக்கப் பட்ட சில எதிரொளிப்புகளை இயலமைப்புக் கூற்றெண் நீக்கிவிடும். காணப்படாத இந்த எதிரொளிப்புகள், படிக அமைப்பைத் தீர்மானிக்க உதவுகின்றன.

68 **உட்கவர்தல்** (Absorption)

ஒரு திடப்பொருள் ஊடகத்தின் வழியாக மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுக் கற்றை பயணம் செய்யும் பொழுது அதன் செறிவில் குறைவு ஏற்பட்டால், உட்கவர்தல் நிகழ்ந்திருப்பதாகக் கூறுகிறோம். இக்கதிர்வீச்சில் ஏற்பட்ட ஆற்றல் இழப்பு அதற்குச் சமமான வேறுவகை ஆற்றலாக – வெப்பம் அல்லது மூலக்கூறு ஆற்றலாக – ஊடகத்தினுள்ளேயே தோன்றுகிறது. திடப்பொருட்களில் ஓர் ஆற்றல் பட்டையில் நிலைபெற்றிருக்கும் எலக்ட்ரான் போதிய ஆற்றல் கொண்ட மின்காந்தக் கதிர்வீச்சிலிருந்து ஆற்றலை எடுத்துக் கொண்டு, அப்பட்டைக்கு மேலிருக்கும் தடுக்கப்பட்ட பட்டையைத் தாண்டி உயர் ஆற்றல் பட்டையை அடைகிறது. இவ்வுட்கவர்தல் நிகழ்வதற்கு, மின்காந்தக் கதிர்வீச்சின் ஆற்றலானது பட்டை இடைவெளிக்குச் சமமாகவோ அல்லது அதிகமாகவோ இருக்க வேண்டும. மேலும் இவ்வுட்கவர்தலுக்கு முன்னரும் பின்னரும் எலக்ட்ரான்களின் உந்தம் கிட்டத்தட்ட மாறாமல் இருக்கிறது. ஓர் ஊடகத்தின் உட்கவர் பண்பானது அணுக்கள் மற்றும் மூலக்கூறுகளின் எலக்ட்ரான் மற்றும் அணுக்கரு அமைப்பு, கதிர் வீச்சின் அலை நீளம், உட்கவர் அடுக்கின் தடிமம், ஊடகத்தின் நிலையைத் தீர்மானிக்கும் ஏனைய மாறிகளாகிய வெப்பநிலை, செறிவு ஆகிய பல அளபுருக்களையும் சார்ந்திருக்கிறது. உட்கவர் பண்பு, ஒளி உமிழ் டையோடு (diode) மற்றும் ஏனைய ஒளித்தடங்காண் கருவிகளாக நவீன தொழில்நுட்பத் துறைகளில் வெகுவாகப் பயன்படுகிறது.

69 **உலோகங்கள்** (metals)

மின் கடத்தும் திறனை அடிப்படையாகக் கொண்டு திடப்பொருட்கள் உலோகங்கள், குறைகடத்திகள், கடத்தாப்பொருட்கள் என மூன்று வகைகளாகப் பிரிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. மின்னை எளிதில் கடத்தும் திடப்பொருட்களே உலோகங்கள் (metals) அல்லது கடத்திகள் (conductors) என அழைக்கப்படுகின்றன. வெள்ளி, தாமிரம், தங்கம், இரும்பு நாமறிந்த உலோகங்களில் தலையாயவை. இயல்பான சூழ்நிலையில் இவற்றின் மின் கடத்துகை (electrical conductivity) 10^7 (ஓம் மீ $)^{-1}$ என்ற நிலையில் இருக்கும்.

கொள்ளளவில் பாதிக்கும் குறைவான எண்ணிக்கையிலான எலக்ட்ரான்களையே கொண்டிருக்கும். இவ்வெலக்ட்ரான்களே உலோகங்களின் கடத்துகைக்குக் காரணமாதலால் இவை 'கடத்துகை எலக்ட்ரான்கள்' என அழைக்கப்படுகின்றன. இதன் விளைவாக உலோகங்களின் ஆற்றல்பட்டை வரைபடம் (energy band diagram) ஒரு தனி இயல்பமைப்பைக் கொண்டிருக்கிறது. இது, எல்லா நிலைகளும் (states) எலக்ட்ரான்களால் நிரம்பிய மேல்மட்ட இணைதிறன் பட்டைக்கு (Valence band) உயரே, தடுக்கப்பட்ட பட்டைக்கு மேல், பாதி அல்லது அதற்குக் குறைவான நிலைகள் நிரம்பிய கடத்துகைப் பட்டை (conduction band), அல்லது இணைதிறன் பட்டையின் மேல் படிந்திருக்கும் (overlapping) வெற்றுக் கடத்துகைப் பட்டையையோ கொண்டிருக்கின்றது. இவ்வாறு உலோகங்களில் எலக்ட்ரானின் அமர்வு நிலைகளுக்கும், வெற்று நிலைகளுக்கும் இடையே அதிக ஆற்றல் இடைவெளி இருப்பதில்லை. எனவே ஒரு உலோகம் மின்புலத்தின் செயற்பாட்டுக்கு உட்படுத்தப்படும்பொழுது கடத்துகை எலக்ட்ரான்கள் எளிதில் அருகில் உள்ள வெற்று நிலைகளை அடைந்து, மின்புலத்துக்கு எதிர்த் திசையில் முடுக்கப்பட்டு மின் கடத்தப்படுகிறது. உலோகங்கள் நெகிழ்விளக்கம் கொண்டவை; நன்கு வெப்பம் கடத்தும் திறனையும் அவை பெற்றுள்ளன. கடத்துகை எலக்ட்ரான்களே உலோகங்களின் புறப்பொலிவுக்குக் காரணமாகும்.

70 உலோகப் படிகங்கள் (Metalic crystals)

உலோக அணுக்கள், நிறைவுறாத கடைசி எலெக்ட்ரான் கூடுகளை உடையவை. அக்கூடுகளில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் இணைதிறன் (valence) எலெக்ட்ரான்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன. உலோக இணைப்புகளின் போது இந்த எலெக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் நிலை குறைகிறது. இது உலோக அமைப்பின் ஒரு சிறப்புப் பண்பாகும். இணைதிறன் எலெக்ட்ரான்களே மின்சாரத்தைக் கடத்தும் எலெக்ட்ரான்களாக மாறுகின்றன. எனவே உலோகங்கள் சிறந்த மின்கடத்திகளாக விளங்குகின்றன. இந்த சிறப்புப் பண்பிற்கான இணைதிறன் எலெக்ட்ரான்கள் கடத்தும் (conduction) எலெக்ட்ரான்கள் அல்லது கட்டற்ற (free) எலெக்ட்ரான்கள் என்றழைக்கப்படுகின்றன. கார (alkali) உலோகங்களில் நேர்மின் துகள்கள் கிட்டத்தட்ட, சீரான எதிர் மின்னூட்டக் கடலில் (sea of electrons) வரிசையாகப் பதிந்திருப்பதாகக் கொள்ளலாம். நிலைதிரிவு (transition) உலோகங்களிலும் அவற்றையடுத்த உலோகங்களிலும் பூர்த்தியாகாத உள் எலெக்ட்ரான் கூடுகளிலிருந்து கூடுதலான இணைப்புகள் ஏற்பட வாய்ப்புள்ளது. உலோகங்கள் முற்றுப் பெற்ற கட்டமைப்பு (close packed) படிகங்களாக இருக்கவே விரும்பும். உருவமையப் படிகம், பக்கமையப் படிகம், அறுகோண முற்றுக் கட்டுப் படிகம் போன்றவை இந்த வகையைச் சார்ந்த படிக அமைப்புகளாகும்.

71 உம்கிலாப் நிகழ்வு முறைகள் (Umklapp processes)

இரு போனான்கள் ஒன்று கூடி உருவாக்கும் மூன்றாவது போனானின் அலை நீளம் தக்கவாறு அமையும்போது இந்த மூன்றாவது போனான் தன் திசையை மாற்றிக் கொண்டு படிகத்தில் வெப்பம் குறைந்த பகுதிக்குச் செல்லாமல் அதற்கு எதிர்திசையில் செல்கிறது. இதனையே உம்கிலாப் நிகழ்வு முறை என்கிறோம். உம்கிலாப் என்ற ஜெர்மன் சொல்லுக்குத் 'திடீரென ஒரு பக்கத்திலிருந்து அடுத்த பக்கத்திற்கு செல்லுதல்' (flop over) என்று பொருள்.

வெப்பநிலை உயர்வால் படிக அணுக்கள் முரணிசை அலைவுகளை (anharmonic oscillations) மேற்கொள்கின்றன. இந்தப் படிகத்தினூடே செல்லும் அலைகள் இடைவினைச் செயல் புரிகின்றன. அவ்வாறு இடைவினைச் செயல் புரியும் இருவேறு அலைகள் தங்கள் ஆற்றலின் ஒரு சிறு பகுதியை இழந்து விடுகின்றன. இவ்வாறு ஒவ்வொரு அலையிலிருந்தும் பிரிந்த மிகச் சிறிய "ஆற்றல் குவாண்டங்களை" போனான்கள்

அலையிலிருந்தும் பிரிந்த மிகச் சிறிய "ஆற்றல் குவாண்டங்களை" போனான்கள் என்றழைக்கிறோம். இந்த இரு போனான்களும் ஒன்று கூடி ஒரு புதிய மூன்றாவது போனானை உருவாக்குகின்றன. இப்புதிய போனானுக்குத் தனி அலைத்திசையியும் (wave vector) $\vec{k_3}$, கோண அதிர்வு எண்ணும் (angular frequency) ω_3 அமைகின்றன.

புதிய மூன்றாவது போனான், அதனை ஏற்படுத்திய இரண்டு போனான்கள் ஆகியவற்றின், 1. ஆற்றல் அழிவின்மையாதலால் $h\omega_1 + h\omega_2 = h\omega_3$, 2. அலைத்திசையி அழிவின்மையாதலால் $\vec{k_1} + \vec{k_2} = \vec{k_3}$. இங்கு $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ முறையே மூன்று போனான்களின் கோண அதிர்வெண்கள் ஆகும். $\vec{k_1}$, $\vec{k_2}$, $\vec{k_3}$ முறையே அவைகளின் அலைத்திசையிகளாகும். இப்போது படிகத்தில் வெப்பக்கடத்தல் கிடைமட்டத் திசையில்நடைபெறுவதாகவும், $\vec{k_3}$ என்பது $\vec{k_1}$, $\vec{k_2}$ அலைத்திசையிகளின் கூட்டுத் தொகுபயன் என்று கொள்வோம். இந்த போனான்கள் உள்வினைச் செயலுக்குப் பிறகும் வெபபக்கடத்தலின் திசையிலேயே சென்றால் இந்த நிகழ்வு முறையை இயல்பு நிகழ்வு முறை (normal process) அல்லது n-நிகழ்வு முறை என்கிறோம்.

மாறாக இடைவினைச் செயலில் ஈடுபடும் இரு போனான்களில் ஒன்றின் அல்லது இரண்டின் அலைத்திசையிகள் அதிக அளவில் இருந்தால் உருவாகும் மூன்றாவது போனானின் அலைத்திசையியும் $\vec{k_3}$ அதிகமாகி அதன் அலை நீளம் குறைகிறது. $\vec{k_3}$-இன் மதிப்பு (π/a)ஐ விட அதிகமாகவும் $(2\pi/a)$ஐ விடக் குறைவாகவும் இருந்தால் இதற்குச் சமமான அலைத்திசையி எதிர்குறி பெறுகிறது. எனவே இந்த மூன்றாவது போனானின் திசைவேகம எதிர்திசையில் திருப்பப்பட்டுவிடும். அதாவது, இடைவினைச் செயல் புரியும் இரண்டு போனான்களின் அலைத்திசையிகளின் கூடுதல் தக்கவாறு அதிகரிப்பின் அவைகள் ஒன்று கூடி உருவாக்கும் மூன்றாவது போனான் தனது மொத்த ஆற்றலின் மதிப்பு மாறாமல் எதிர்திசையில் செல்கிறது. எனவே இந்த மூன்றாவது போனான் வெபபம் குறைவான பகுதியை நோக்கிச் செல்லாமல் அதற்கு எதிர்திசையில் சென்று படிகத்தில் வெப்பத்தடையை உருவாக்குகிறது. இத்தகைய நிகழ்வினை உம்கிலாப் நிகழவு முறை (அ) U-நிகழ்வு முறை என்று கூறுகிறோம்.

72 எக்சைட்டான்கள் (Excitons)

எலக்டரான்-துளை (Electron-Hole) பிணைப்பு எக்சைட்டான் எனப்படுகிறது. கூலும் விசையின் காரணமாக எலக்ட்ரானுக்கும் புரோட்டானுக்குமிடையே ஈர்ப்புவிசை ஏற்படும்; இதேபோன்று ஒரு படிகத்தில் (எ.கா. KI, KCL, KBr) எலக்ட்ரானுக்கும் துளைக்குமிடையே பிணைப்பு ஏற்படும். இப்பிணைப்பு எக்சைட்டான் எனப்படுகிறது. இவ்வெக்சைடடானின் பிணைப்பாற்றல் ஏறத்தாழ 0.01 எலக்ட்ரான் வோல்ட் ஆகும். படிகததின்மீது ஒளிப போட்டான்கள் (light photons) செலுத்தப்படும்போது ஏற்படும் கிளர்சசி ஆறறலை (excitation energy) அப்படிகம் முழுவதும் பரவலாக இவவெகசைடடான்கள் எடுத்துச் செல்கின்றன. எக்சைட்டான்களின் மின்னூட்டம் சுழியாகும். அனைத்துக் காப்புப் படிகங்களிலும் எக்சைட்டான்கள் உருவாக்கப்படுகின்றன. எகசைடடான்கள் படிகத்தின் அணிக்கோவைக் குறைகளின் மீதோ (Lattice defects) அல்லது தூசுகளின் (impurities) மீதோ மோதும்போது அவை உறிஞ்சப்படுகின்றன.

73 எதிர் பெரோ மின்னியல் (Antiferro electricity)

பெரோ மின்பொருட்களில், பெயர்வு வெப்பநிலைக்குக் கீழ் (below transition temperature), புற மின்புலத்தினால் சீரான மின்னிரட்டைகள் (ordered dipoles) தூண்டப் படுகின்றன. ஆனால், சில பொருட்களில் சீரான மின்னிரட்டைகள் தூண்டப் பட்டாலும், அவற்றில, போதுமான அளவு தன்னிகழ்வு முனைவாக்கம் (spontaneous bulk polarisation) ஏற்படுவதில்லை. இவற்றிற்கு எதிர் பெரோ மின்பொருட்கள் (antiferro electrics)

⊕	⊕	⊕
⊕	⊕	⊕
⊕	⊕	⊕

⊕	⊕	⊕
⊕	⊕	⊕
⊕	⊕	⊕



பெரோ மின்பொருள் எதிர் பெரோ மின்பொருள்

(நேர் அயனிகளின் இடப்பெயர்ச்சி மட்டும் காட்டப்பட்டுள்ளது)

என்றுபெயர். இவற்றில் தன்னிகழ்வு முனைவாக்கம் ஏற்படுவதில்லை எனினும், இவற்றின் மின்கடவா மாறிலி (dielectric constant) மாறுபடுகிறது.

எதிர் பெரோ மின்பொருட்களில், அடுத்துள்ள அயனிகளின் வரிசைகள் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு எதிர்த்திசையில் இடம் பெயர்ந்துள்ளன. பெரோ மின்பொருட்களும் எதிர் பெரோ மின்பொருட்களும் ஒரே கட்டமைப்பை (structure) பெற்றிருப்பினும், சில முக்கிய எதிர் பெரோ மின்பொருட்கள், பெரோ மின்பொருட்களின் ஒத்த உருவக் கட்டமைப்பும் (isomorphous) பெற்றிருக்கின்றன. இக்காரணத்தினால், பொட்டாஷியம்–டை–ஹைட்ரஜன் பாஸ்பேட் (KDP), பெரோ மின்பொருளாகவும், அதே உருவக் கட்டமைப்புக் கொண்ட அம்மோனியம்–டை–ஹைட்ரஜன் பாஸ்பேட் (ADP) எதிர் பெரோ மின்பொருளாகவும் இருக்கின்றன.

74 எலக்ட்ரானிய முனைவாக்கத் திறன் (electronic polarization)

மின்புலத்தில் ஒரு மின்கடத்தாப் பொருள் வைக்கப்படும் பொழுது அதில் மின் முனைவாக்கம் (electric polarisation) ஏற்படுகின்றது. இதனை, செயற்படுத்தப்பெறும் மின்புலத்தின் விளைவாக மின் கடத்தாப் பொருளில் ஏற்படும் ஒரு தற்காலிக மின்திரிபு (electrical strain) என்று கூறுவது வழக்கம். இது 1. எலக்ட்ரானிய முனைவாக்கம், 2. அயனி முனைவாக்கம் (ionic polarisation), மற்றும் 3. திசை முகமாக்கு முனைவாக்கம் (orientational polarisation) என்று மூன்று வகைப்படும். எலக்ட்ரானிய முனைவாக்கம் என்பது மின்புலத்தின் செயற்பாட்டால் அணுக்கள் அடையும் திரிபே ஆகும். மின்புலம் செயற்படாதபொழுது அணுக்களின் நேர் மின்னூட்ட மையமும் எதிர் மின்னூட்ட மையமும் ஒரே புள்ளியில் அமைகின்றன. ஆனால் மின்புலம் செயற்படும்பொழுது இம்மையங்கள் சிறிது இடம் பெயர்கின்றன. இதனால் ஒரு மின் இருமுனை (electric dipole) தூண்டப் பட்டதாகிறது. இங்ஙனம் தூண்டப்பட்ட இருமுனைத் திருப்புதிறனுக்கும் (dipole moment) தூண்டும் மின் புலத்துக்கும் உள்ள தகவே எலக்ட்ரானிய முனைவாக்கத் திறன் ஆகும். அணுக்கள் பெரியனவாக ஆக அவற்றின் எலக்ட்ரானிய முனைவாக்கத் திறனும் உயருகின்றன. மேலும் இத்திறனானது அணுக்களுடைய எலக்ட்ரான் இயலமைப்பையே சார்ந்துள்ளது. இயல்பான வெப்பநிலைகளில் இதன் மதிப்பும் வெப்ப நிலையைச் சாராமலே இருக்கும்.

75 ஏற்பு நிலைகள் (Acceptor states)

குறைகடத்திகளுடன் சில குறிப்பிட்ட வேற்றுப் பொருள் அணுக்கள் குறைந்த செறிவில் சேர்ந்திருக்கும்பொழுது ஆற்றல் நிலைகளே இருப்பதற்கு சாத்தியமில்லாத தடுக்கப்பட்ட ஆற்றல் பட்டையினுள் இணைதிறன் பட்டையின் மேல்முனைக்கு அருகில் உண்டாக்கப்படும் ஆற்றல் நிலைகளே ஏற்புநிலைகள் எனப்படும். காட்டாக, அலுமினியம் போன்ற மூன்றாம் குழுமத்தைச் சேர்ந்த அணுக்கள் சிலிகான் அல்லது செர்மானியம் போன்ற தனிமக் குறைகடத்திகளில் வேற்றுப் பொருளாக நுழையும்பொழுது இந்நிலைகள் தோன்றுகின்றன. ஏற்பு நிலைகள் தோன்றுவதற்குக் காரணமான வேற்றுப் பொருள்

அணுக்கள் ஏற்பிகள் (acceptors) என அழைக்கப்படுகின்றன. இவ்வாற்றல் நிலைகள் மில்லி எலக்ட்ரான் வோல்ட் அளவிலான மிகக் குறைந்த பிணைப்பாற்றலையே கொண்டிருக்கின்றன. ஆகவே இயல்பான வெப்பநிலையில் எலக்ட்ரான்கள் இணைதிறன் பட்டை யின் மேல்முனைக்கும், ஏற்பு நிலைக்கும் இடையே தாண்டிச் செல்வது எளிதாகிறது. இதன் காரணமாகக் குறைகடத்திகள் மின்னைக் கடத்தத் தொடங்குகின்றன. இது புறத் திரிநிலைக் கடத்துகை (extrinsic conductivity) என அழைக்கப்படுகிறது. குறைகடத்திகளின் இப்பண்பே தற்கால எலக்ட்ரானியலில் வெகுவாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஏற்புநிலைகளுக்குக் காரணமான வேற்றுப் பொருள் அணுக்களைக் கொண்ட குறைகடத்திகள் p வகை என அழைக்கப்படுகின்றன. இதில் பெருவாரியான மின்னூட்ட ஊர்திகள் நேர்மின்னூட்டத் துளைகளாகும் (positive holes). ஏற்பு நிலைகளின் பிணைப்பாற்றல் அளவு சார்ந்து, அவை எளிய/ வலிய (shallow/deep) ஏற்பு நிலைகள் என அழைக்கப்படுகின்றன.

76 ஐசோடோப்பு விளைவு (Isotope effect)

மீக் கடத்தும் திறனானது எலக்ட்ரான்களால் நடைபெறும் தடையில்லா மின்னூட்டமானபோதும், அது படிகத்தின் அணிக்கோவையில் (lattice) உள்ள அயனிகள்/ அணுககளின் நிறையுடன் தொடர்பு கொண்டது என்று காட்டுவது இவ்விளைவாகும். 1951–ஆம் ஆண்டு ரெயினால்டு, செரின், ரைட், நெஸ் பிட் மற்றும் மாக்ஸ்வெல் ஆகியோரால் இவவிளைவு கண்டறியப்பட்டது. ஒரு கடத்தி, மீக் கடத்தியாக மாறும் வெப்ப நிலைக்குப் 'பெயர்வு வெப்ப நிலை' (transition temperature) என்று பெயர். இது கடத்திகள் தோறும மாறுபடுகின்றது. இதன் மதிப்பு T_cக்கும், மீக் கடத்தியின் அயனியின் நிறை Mக்கும் $M^{1/2}T_c=$ மாறிலி என்ற தொடர்புஇருப்பதாக மேலே குறிப்பிட்ட அறிஞர்கள் சோதனைகள் மூலம் கண்டறிந்தனர். இதனைப் பொதுவாக $M^{\alpha}T_c=$ மாறிலி என்றும் கூறலாம். α என்ற எண் +1/2க்குச் சமமாகப் பல மீக் கடத்திகளுக்கு இருந்த போதிலும், சிலவற்றில் அதன் மதிபபு 1/2க்குக் குறைவாகவும், சிலவற்றில் சுழிக்கும் குறைவாகவும் (negative) இருப்பது பின்னர் செய்த சோதனைகள் மூலம் தெரிய வந்தது. ஐசோடோப்பு விளைவின் மூலம் மீக் கடத்திகளின் பெயர்வு வெப்பநிலை அணிக் கோவையில் உள்ள அணுக கருவுடன் தொடர்பு கொண்டது என்று புலனாகிறது.

77 ஒருங்கிணைவு ஆற்றல் (Cohesive energy)

ஒரு திண்மத்தின் பிணைப்புக்கு, எலக்ட்ரான்களின் எதிர் மின்னூட்டம் மற்றும் அணுக் கருவின் நேர்மின்னூட்டம் இவைகளுக்கிடையே ஏற்படும் நிலைமின் ஈர்ப்பு விசையே மூல காரணமாகும். இந்த ஒருங்கிணைவாற்றலைப் பெற ஒரு திண்மத்தின் முழு ஆறறல், மற்றும் அத்திண்மத்திலுள்ள மொத்த அணுக்கள் கட்டுப்பாடற்ற ஈறிலாப் பிரிவு நிலையில் கொண்டிருக்கும் மொத்த ஆற்றல் ஆகிய இவ்விரு ஆற்றல்களைக் கணக்கிடவேணடும. இவ்விரு ஆற்றல்களுக்குள்ள வேறுபாடுதான் ஒருங்கிணைவு ஆறறல எனபபடும். ஒரு படிகத்தின் முழு ஆற்றல், அப்படிகத்தின் அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகள், கட்டுப்பாடற்ற நிலையில் (free) உண்டாக்கும் மொத்த ஆற்றலை விட குறைவாக இருக்கும பொழுதுதான் அப்படிகம், நிலையாக இருக்கும்.

78 ஒளி–மின்னழுத்த விளைவு (Photo - voltaic effect)

ஒளியூட்டப்பட்ட P-N சந்தி டையோடில் தோன்றும் முன்னோக்கு மின்னழுத்தத்தை (forward voltage) ஒளி–மின்னழுத்த விளைவு எனலாம். ஒரே படிகத்தில் N-வகைப் பகுதியையும், P-வகைப் பகுதியையும் ஒன்றாக இணைத்து P-N சந்தி டையோடு தயார் செய்யலாம். சந்தியில் ஒளி விழும்போது எலக்ட்ரான்–துளை இணைகள் உருவாகின்றன. எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் ஒரு பகுதியிலிருந்து மற்றொரு பகுதிக்கு விரவும்போது, மின்புலம் இல்லாதபோதே படிகத்தின் குறுக்கே மின்னழுத்தம்

ஏற்படுகிறது. இந்நிகழ்வு ஒளி–மின்னழுத்த விளைவு எனப்படுகிறது. எனவே, இவ்விளைவு ஏற்படுத்தும் படிகத்தை மின்கலம் (cell) போன்றே பயன்படுத்தலாம். சூரிய மின்கலம் (solar cell) இவ்விளைவின் அடிப்படையில் இயங்குகிறது.

79 ஒற்றையணு அணிக்கோவை (Monoatomic lattice)

படிகங்களில், அணுக்கள் ஓர் ஒழுங்கான முறையைப் பின்பற்றி முப்பரிமாண வடிவில் அமைக்கப்பட்டிருக்கும். இதனைப் படிக அமைப்பு என்பர். படிக அமைப்பு, வெளி அணிக்கோவை (space lattice) என அழைக்கப்படும் வடிவியல் அடிப்படையில் விளக்கப்படுகிறது. வெளி அணிக்கோவை என்பது வெளியில் உள்ள புள்ளிகளின் அடுக்காகும். அணிக்கோவையில், எந்தவொரு புள்ளியின் சுற்றுச் சூழலும் மற்ற எந்தப் புள்ளியின் சுற்றுச் சூழலுக்குச் சமமாக இருக்கும். ஒன்று அல்லது அதிகமான அணுக்களைக் கொண்ட ஒவ்வொரு அணிக்கோவைப் புள்ளியையும் அடிப்படை (basis) என்பர். அடிப்படையை முப்பரிமாணங்களில் திரும்பத் திரும்ப எல்லாத் திசைகளிலும் அடுக்குவதனால் படிகத்தைப் பெறலாம். இந்தச் சிறிய அடிப்படைப் பகுதியை அலகு செல் (unit cell) என்பர்.

வெளி அணிக்கோவை + அடிப்படை ---> படிக அமைப்பு

அடிப்படையில் ஒரு அணு மட்டும் இருப்பதை ஒற்றையணு அணிக்கோவை என்பர். இவ்வகையில் ஒவ்வொரு அணிக்கோவைப் புள்ளியிலும், தனிமத்தின் ஒரு அணுவினைச் சரியாக அமைத்துப் படிகம் தோற்றுவிக்கலாம். எடுத்துக்காட்டாக குரோமியப் படிக அமைப்பைக் கருதலாம்.

இவ்வகையான படிகங்களை ஒற்றையணுப் படிகம் என்பர். ஒற்றையணு அணிக்கோவையில் அணுவின் அதிர்வினால் தோன்றும் அலையின் அதிர்வெண் அலைத்திசையிக்கு நேர்தகவில் அமையும்.

80 ஓரியல் தொலைவு (Coherence length)

இது மிகுமின் கடத்திகளில் கூப்பர் இரட்டைகள் (Cooper pairs) செல்லக்கூடிய தொலைவு பற்றியதாகும். பொதுவாக கூலும் விசையின் தாக்குதலால் எலக்ட்ரான்கள் ஒன்றைவிட்டொன்று விலகிச் செல்லும். இதற்கு மாறாக மிகுமின் கடத்தியிலுள்ள எலக்ட்ரான்களுக்கிடையே ஈர்ப்புவிசை ஏற்படுகிறது என கூப்பர் மெய்ப்பித்தார். இவ்விசையின் காரணமாக இவ்விரு எலக்ட்ரான்களும் இரட்டைத் தன்மையை (pair) அடைகின்றன. இவ்விரட்டைகள் அணிக்கோவை அயனிகளின்மீது மோதாமல் மிதந்து செல்லும் இயல்பு பெற்றவை. எனவே அக்கடத்தியின்மீது மின்னழுத்தம் தாக்கும்போது இவ்விரட்டைகள் அடையும் இயக்க ஆற்றல் எவ்வித பாதிப்பும் அடைவதில்லை; அதாவது, அவற்றின் திசைவேகம் (v) மாறுபடுவதில்லை. இதன் காரணமாக மிகுமின்னோட்டம் ($J = nev$) அழிவடையாமல் செல்கிறது. ஏறத்தாழ 10^{-8} மீட்டர் தொலைவுவரைதான் கூப்பர் இரட்டைகளால் இந்நிலையில் செல்ல முடியும். இத்தொலைவு ஓரியல் தொலைவு எனப்படுகிறது.

81 கடத்தல் பட்டை (Conduction band)

ஒரு திண்மத்தில் (solid) மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்தும் கடத்தல் எலக்ட்ரான்களின் (conduction electrons) ஆற்றல் நெடுக்கை (energy range) 'கடத்தல் பட்டை' எனப்படும். தனி அணுவைச் சுற்றும் ஒவ்வொரு எலக்ட்ரானும் குறிப்பிட்ட ஆற்றல் மட்டம் கொண்டது. பல அணுக்களாலான திண்மத்தில், ஓரணு அதன் அருகிலுள்ள அணுக்களின் நிலைமின் புலத்தால் (electrostatic field) பாதிக்கப்படுவதால் எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் மட்டங்களில்

சிறிது மாற்றம் நிகழும். இவ்வாற்றல் மட்டங்களின் நெடுக்கையை 'ஆற்றல் பட்டை' என்கிறோம். ஒரு பொருளில் உள்ள இணைதிறன் எலக்ட்ரான்கள் (valence electrons) அணுக்கருவிலிருந்து விடுபட்டால் அவை தன்னிச்சை எலக்ட்ரான்களாக (free electrons) ஆகும். மின்னோட்டம் பாயக் காரணமான இக்கடத்தல் எலக்ட்ரான்கள் 'கடத்தல் பட்டை'யில் இருக்கின்றன. மின் கடத்தாப் பொருட்களில் (insulators) கடத்தல் பட்டை எலக்ட்ரான்களே இல்லாமல் காலியாக இருப்பதால் அப்பொருட்கள் வழியே மின்னோட்டம் பாயாது. நற்கடத்திகளில் (good conductors) கடத்தல் பட்டையில் உள்ள எலக்ட்ரான்கள் மின்சாரத்தை எளிதில் கடத்துகின்றன. குறைகடத்தியில் (semi-conductors) கடத்தல் பட்டையில் கடத்தல் எலக்ட்ரான்கள் குறைவாக உள்ளன.

82 கடத்தாப் பொருட்கள் (Insulators)

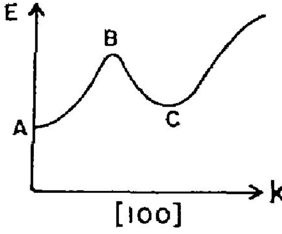
மின் கடத்தும் திறனை அடிப்படையாகக் கொண்டு திடப்பொருட்கள் உலோகங்கள், குறைகடத்திகள், கடத்தாப் பொருட்கள் என மூன்று வகைகளாகப் பிரிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. மிகக் குறைந்த மின் கடத்தும் திறன் கொண்ட திடப் பொருட்களே மின் கடத்தாப் பொருட்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன. இவற்றின் கடத்துகை 10^{-16} (ஓம். மீ)$^{-1}$ என்னும் மிகக் குறைந்த நிலையில் இருக்கும். இப்பொருட்களில் மின் கடத்துகைக்குத் தேவையான கடத்துகை எலக்ட்ரான்கள் இல்லாமையே இதற்குக் காரணமாகும். இப்பொருட்களிள் ஆற்றல்பட்டை வரைபடமானது எல்லா நிலைகளும் எலக்டரான்களால் நிரம்பிய மேல்மட்ட இணைதிறன் பட்டையையும், அதனைத் தொடர்ந்து 2 எலக்ட்ரான் வோல்ட் அல்லது அதற்கு அதிகமான ஆற்றல் இடை வெளியையும், அதற்குமேல் வெற்றுக் கடத்துகைப் பட்டையையும் கொண்டிருக்கின்றன. ஆகவே மின்புலத்தின் செயற்பாட்டினால் எலக்ட்ரான்கள் எளிதாக உயர் ஆற்றல் நிலைகளுக்கு உந்தப்பட முடிவதில்லை. இதன் விளைவாக இப்பொருடகள் மின்னைக் கடத்த முடிவதில்லை. மின்புலத்தின் செறிவைப் படிப்படியாக அதிகரித்துக் கொண்டு போனால், ஆற்றல் இடைவெளிக்குச் சமமான செறிவை அடையும்பொழுது, மேல்மட்ட இணைதிறன் பட்டையிலுருந்து சில எலக்ட்ரான்கள் ஆற்றல் இடைவெளியைத் தாண்டி மேலேயுள்ள வெற்றுக் கடத்துகைப் பட்டையின் நிலைகளை அடைகின்றன. இந்நிலையில் இப்பொருட்கள் மின்சாரத்தைக் கடத்தத் தொடங்குகின்றன. இந்நிகழ்வு கடத்தாப் பொருளின் சரிவுநிலை (dielectric breakdown) என அழைக்கப்படுகிறது. கடத்தாப் பொருடகளின் தன்மை அவற்றின் மின் கடத்தா மாறிலி (dielectric constant) என்னும் அளபுருவால் குறிக்கப்படுகின்றது.

83 கண்ணாடி (Glass)

இயல்பாகத் திரவ நிலையிலிருக்கும் சில பொருட்கள் குளிர்வடையும்போது, எந்த ஒரு வெபபநிலையிலும் படிகமாதல் போன்ற தொடர்ச்சியறு மாற்ற நிலைகளை அடையாமல் தம் பாகியல் தன்மையைக் கூட்டிவந்து அடையும் திட நிலையையே, கண்ணாடி நிலை என்பர். பாகியல் தன்மை 10^{13} poises [10^{12} Nsm^{-2}]-ஐ விட அதிகமாக இருககும் எந்த ஒரு திரவத்தையும் அல்லது மீக்குளிர்ச்சியடைந்த திரவத்தையும் கண்ணாடிப் பொருள் எனக் கூறுவர்.

84 கன் விளைவு (Gunn effect)

கேலியம ஆர்சினைட் (GaAs) என்ற குறைகடத்தியில் ஓர் ஆற்றல் வாய்ந்த DC - மின்னழுத்தத்தை (~ 10 V / cm) ஏற்படுத்துகையில் நுண் அலைகள் தோன்றுவதை, 1963–ம் வருடம் J.B.கன் என்பவர் கண்டுபிடித்தார். பிறகு, இதே விளைவு InP மற்றும் CdTe போன்ற குறைகடத்திகளிலும் தோன்றுவதைக் கண்டுபிடித்தனர். தற்சமயம் 150 GHz அளவுக்கு அலை இயற்றிகளாக இவை பயன்படுகின்றன. இயல்பான டிரான்சிஸ்டர் போன்ற

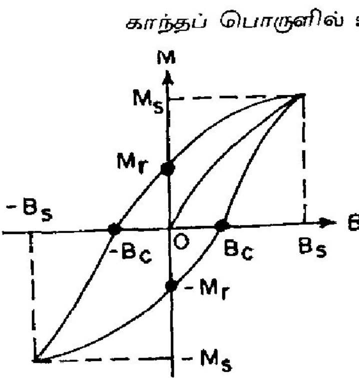


வற்றால் இவ்வளவு அதிக அலைவுகளை ஏற்படுத்துவது கடினம். இவ்விளைவை அறிந்து கொள்ள படத்தைக் காண்க. இப்படம் GaAs -ன் ஆறறல் மட்டங்களை குறிப்பது.

E, எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல்; k, அலை திசையி(vector). A என்ற மட்டத்தில் உள்ள எலக்ட்ரான் நிறை (m_A) குறைவாக உள்ளதால் குறைவான மின்னழுத்தத்திலேயே மின் கடத்தல் ஏற்படும். ஆனால் மின்னழுத்தம் அதிகமாகும்பொழுது எலகட ரான் A-ல் இருந்து C-க்குத் தள்ளப்படுகிறது. C-ல் அதன் நிறை அதிகமாக உளளதால் கடத்தல் குறைகிறது. மின் தடை யாவதால் அலைவு ஏற்படுகிறது.

85 காந்தத் தயக்கம் (Hysteresis)

காந்தத் தயக்கம் என்பது, புறக காந்தபபுலம் ஒன்றில் வைககப்படும் பெரோ காநதப் பொருட்கள், புறக் காந்தபபுலம் $+B_s$லிருந்து $-B_s$ககும், மீண்டும $+B_s$ககும் மாறும்பொழுது, அதன் காநதமாக்குதலில் ஏற்படும் மாற்றததைக குறிக்கும் ஒரு பண்பாகும். இங்கு B_s என்பது காந்தமாக்குதலின் நிறைச்செறிவு (saturation magnetisation) நிலையைக் குறிக்கிறது. $B = \pm B_s$ எனபதற்கொப்ப ஏற்படும் காந்த வலிமை $\pm M_s$ஐ, நிறைச்செறிவுக் காந்தநிலை என்றும, புறக் காந்தப்புலம் சுழியாகும்பொழுது, காந்தப பொருளில் தங்கியுள்ள காந்தத் தனமையை தேககு காந்த நிலை (residual magnetisation) என்றும் கூறுகிறோம். இப்பண்பே, நிலைக் காந்தங்கள் செய்வதறகான அடிப்படையாகும்.



காந்தப் பொருளில் உள்ள காநதத தன்மையை சுழியாககுவதற்குத தேவையான $+B_c$ என்ற புறக காந்த வலிமையைக காந்த நீக்குவிசை (coercive force) என்று கூறுகிறோம். தேக்கு காந்த நிலையைத தககு வைததுக் கொள்வதறகுத் தேவையான பெரோ காந்தப் பொருளின் பண்பை காநத நீக்குவிசை குறிபபிடுகிறது. கடினப பொருட்களுக்கு இதன் மதிபபு அதிகமாகும. இவற்றிற்கான தயக்கக கண்ணி (hysteresis loop) பெரியதாகவும், மிருதுவான பொருடகளுக்கு சிறியதாகவும இருக்கும. முதல்வகைப் பொருட்கள் நிலைக காநதங்கள் தயாரிப்பதற்கும், இரண்டாம வகைப பொருட்கள், மின்மாற்றி உள்ளகம் (transformer core) தயாரிப்பதற்கும பயன்படுகின்றன. காந்தமாதலின திசையை மாறறுமபொழுது ஏற்படும் வெப்ப ஆற்றலின் மதிப்பு, தயக்கககண்ணியின் பரப்பிற்கு நேர்தககவில் உள்ளது.

86 கியூரி புள்ளி (Curie point)

ஒரு பெரோ காந்தப் பொருள சூடேறறப்படும்போது, தனது பெரோ காந்தப பணபை மெதுவாக இழக்கிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில், பெரோ காந்தத் தனமை முற்றிலும் மறைந்து அபபொருள் பாரா காந்தமாகிறது இவவெப்பநிலை கியூரி வெப்ப நிலை அல்லது கியூரி புள்ளி என அழைககப்படுகிறது.

87 குறைகடத்திகள் (Semiconductors)

மின் கடத்தும் திறனை அடிப்படையாக் கொணடு திடப்பொருட்கள் உலோகங்கள், குறைகடத்திகள், கடத்தாப பொருட்கள என மூன்று வகைகளாகப் பிரிக்கப்

பட்டிருக்கின்றன. உலோகங்களுக்கும், கடத்தாப் பொருட்களுக்கும் இடையே, இயல்பான சூழ்நிலையில் 10^{-4} லிருந்து 10^{-5} (ஓம்.மீ)$^{-1}$ வரையான அளவில் மின் கடத்துகையைக் கொண்டுள்ள திடப்பொருட்கள் குறைகடத்திகள் என அழைக்கப்படுகின்றன. சிலிக்கான், ஜெர்மானியம் முதலியன தனிம நிலையிலும், காலியம் பாஸ்பைடு போன்றவை கூட்டு நிலையிலும் காணப்படும் குறைகடத்திகள் ஆகும். தனிச் சுழி (absolute zero) வெப்பநிலையில் குறைகடத்திகள் யாவும் முற்றிலும் கடத்தாப் பொருட்களேயாகும். குறைகடத்திகளின் ஆற்றல்பட்டைகளின் வரைபடமானது, எல்லா நிலைகளும் எலக்ட்ரான்களால் நிரம்பிய மேல்மட்ட இணைதிறன் பட்டையையும், அதனைத் தொடர்ந்து எலக்ட்ரான் வோல்ட அளவிலான ஆற்றல் இடைவெளியையும், அதற்குமேல் வெற்றுக் கடத்துகைப் பட்டையையும் கொண்டிருக்கின்றன. ஆகவே வெளிப்புறத்திலிருந்து ஆற்றல் இடைவெளிக்கு இணையான அல்லது அதிகமான ஆற்றல் செலுத்தப்படும்பொழுது, இணைதிறன் பட்டையின் மேல் மட்டத்திலிருந்து சில எலக்ட்ரான்கள், ஆற்றல் இடைவெளியைக் கடந்து, கடத்துகைப் பட்டையின் நிலைகளைச் சென்றடைகின்றன. இவ்வாறு சென்றடையும் பொழுது அவை முன்னர் அமர்ந்திருந்த நிலைகளில் நேர் மின்னூட்டத் துளைகளை விட்டுச் செல்கின்றன. கடத்துகைப் பட்டையை அடைந்த எலக்ட்ரான்களும், இணைதிறன் பட்டையில் உள்ள நேர் மின்னூட்டத்துளைகளும் சேர்ந்து மின் கடத்தலுக்கு வழி வகுக்கின்றன. ஆகவே உலோகத்துக்கு மாறாக, வெப்பநிலை அதிகரிக்கும்போது குறைகடத்தியின் மின் கடத்துகை அதிகரிக்கிறது. சில குறிப்பிட்ட வேற்றுப் பொருள் அணுக்களின் சேர்க்கையினாலும் குறைகடத்திகளின் மின் கடத்துகை அதிகரிக்கக் கூடும்.

88 குறைபாடுகள் (Imperfections)

ஒரு சீர்மப் படிகத்தில் (perfect crystal) அணுக்கள் மிகச் சீராக அமைந்திருக்கும். இச்சீர்மைகளைச் சீர்குலையச் செய்யும் மாற்றங்கள் எத்தகையதாயினும் அவற்றைக் குறைபாடுகள் என்று கூறுகிறோம். நடைமுறையில் படிகங்கள் குறைபாடுகள் கொண்டே இருக்கின்றன. கீழ்க்கண்டவை சில முக்கியமான குறைபாடுகளாகும்.

(i) தனிப்புறப்பரப்பு (Free surface) :

அடைபட்ட எலக்ட்ரான்கள் அல்லது எலக்ட்ரான்களின் மூலங்கள் (traps or sources of electrons) படிகப்பரப்பில் தோன்றுவதால் ஏற்படும் புறப்பரப்பு நிலைகள் (surface levels) முக்கிய குறைபாடுகளாகத் திகழ்கின்றன. இதற்குக் காரணம் படிகப் புறப்பரப்பின் மீதமைந்த அணுக்களுக்கும் அக அணுக்களுக்கும் இடையே உள்ள குவாண்டம் நிலைகளில் காணப்படும் வேறுபாடாகும். இவ்வகைக் குறைபாடுகள் குறைகடத்திப் படிகங்களில் கண்டறியப்பட்டுள்ளன.

(ii) சீர்குலைவு (Disorder)

ஒரு படிகத் திண்மம் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட தனிமங்களைக் கொண்டிருப்பின் அவ்வேறுபட்ட தனிம அணுக்களை ஒரு குறிப்பிட்ட அணிக்கோவையில் ஒழுங்குற அமைக்கும் முறைகள் பலவாக இருக்கும். அவ்வாறு ஓர் அணிக்கோவையில் வரிசை முறையில் அணுக்கள் அமையாது முறையற்ற இடத்தில் அமையும் அணுக்களால் ஏற்படும் குறைபாட்டினைச் சீர்குலைவு என்கிறோம்.

(iii) காலி இடங்களும் இடை அமர்வுகளும் (Vacancies and interstitials)

அணுக்கோவையில் அணுக்கள் இருக்க வேண்டிய இடத்தில் அமையாவிட்டால் அணுக் காலியிடங்கள் ஏற்படுகின்றன. மேலும் அணிக்கோவைகளுக்கிடையே ஒரு சில அணுக்கள் சென்று அமர்ந்து விடுவதால் இடை அமர்வு அணுக்கள் உருவாகின்றன. மாசுகள் போன்றே காலியிடங்களும், இடை அமர்வுகளும் படிகத்தில் எலக்ட்ரான்களைச்

சிதறச் செய்யும் மையங்களாகத் செயற்படுகின்றன. இக்குறைபாடுகளில் பிரெங்கெல் குறைபாடுகள் (Frenkel defects), ஸ்காட்கி குறைபாடுகள் (Schottky defects) என்பன அடங்கும்.

(iv) இடக்குலைவுகள் (Dislocations)

இடக்குலைவுகள் என்பன படிகங்களில் ஒரு வரிக் கோட்டில் ஏற்படும் ஒற்றைப் பரிமாணக் குறைபாடுகளாகும். இவை வரிக்கோட்டுக் குறைபாடுகள் (line defects) என்றழைக்கப்படும். இவை புள்ளிக் குறைபாடுகளான காலியிடங்கள், இடையமர்வுகள் ஆகியவற்றிலிருந்து வேறுபடுகின்றன.

89 குழுத் திசைவேகம் (Group velocity)

அலை செல்கின்ற திசையில் நிலையான கட்டம் கொண்ட புள்ளி முன்னேறுகின்ற வீதத்தைக் கட்டத் திசைவேகம் (phase velocity) என்பர். கட்டத் திசைவேகம் அதிர்வெண், அலைநீளம் ஆகியவற்றைச் சார்ந்ததல்ல. சம வீச்சும் சிறிது மாறுபட்ட அதிர்வெண்ணும் கொண்ட இரு அலைகள் மேற்பொருந்தும்போது, தோன்றுகின்ற குழு அலை, அலையுடன் தொடர்பு கொண்ட ஒரு திசைவேகத்தில் நகர்கிறது. இதனைக் குழுத் திசைவேகம் என்பர். குழுத் திசைவேகம் என்பது அலை செல்லக்கூடிய திசையில் ஆற்றல் கடத்தப்படும் திசைவேகம் என வரையறுக்கலாம். குழுத் திசைவேகம், கட்டத் திசைவேகம், அலைநீளம் ஆகியவற்றிற்கிடையேயுள்ள தொடர்பினை, $v_g = v_p - \lambda((dv_p)/d\lambda))$ என்ற சமன்பாட்டினால் குறிக்கலாம். இங்கு v_g குழுத் திசைவேகம்; v_p கட்டத் திசைவேகம்; λ அலைநீளம்.

அலையின் கணுப் பகுதி நிலையாக இருப்பதால் கணுவுக்கு அப்பால் ஆற்றல் கடக்க முடியாது. எனவே கணு நகர்கின்ற திசைவேகத்தில் தான் (குழுத் திசைவேகம்) ஆற்றல் கடத்தப்படும். நிலை அலைகளில் குழுத் திசைவேகம் சுழியாக இருப்பதால் நிகர ஆற்றல் ஓட்டம் கிடையாது. ஒரு படித்தான ஊடகத்திலுள்ள மீட்சியியல் அலைகட்கு கட்டத் திசைவேகமும், குழுத் திசைவேகமும் சமமாகும். இது வெற்றிடத்திலுள்ள மின்காந்த அலைகட்குப் பொருந்தும்.

90 கூப்பர் இணைகள் (Cooper pairs)

மீக் கடத்திகளில் மின்தடையின்றி மின்னோட்டம் பாய்வதற்குத் துணை புரியும் எலக்ட்ரான்களின் இணைகள் 'கூப்பர் இணைகள்' என்று அழைக்கப்படுகின்றன. 1956–ஆம் ஆண்டு Cooper என்பவர் இவற்றின் பண்புகளைக் கண்டறிந்தார். இயல்பான எலக்ட்ரான்களைப் போலன்றி இவை கட்டுண்ட இணைகள் (bound pairs) ஆகும். ஒரு கடத்தியின் வெப்பநிலையைப் படிப்படியாகக் குறைக்கும்போது இக் கட்டுண்ட இணைகள் (பெயர்வு வெப்ப நிலையில்) உருவாக்கப்படுகின்றன. இவைகள் எதிரெதிர் சுழற்சிக் கோண உந்தமும் (orbital angular momentum) எதிரெதிர் தற்சுழற்சிக் கோண உந்தமும் (spin angular momentum) கொண்டவை. எனவே இவற்றால் அணிக் கோவையின் வழியே தடையின்றி இயங்க முடிகிறது.

91 கோண்டோ விளைவு(Kondo effect)

காந்தத் தன்மையற்ற உலோகப் படிகங்களில் உள்ள காந்த அயனிகளின் நீர்த்த திண்மக் கரைசல்களில் அயனி மற்றும் கடத்தி எலக்ட்ரான்களுக்கிடையேயான பரிமாற்ற இணைப்பு முக்கிய விளைவுகளைக் கொண்டுள்ளது. கோண்டோ விளைவு என்பது காந்த அயனி மற்றும் கடத்தி எலக்ட்ரான்களுக்கு இடையே ஏற்படும் ஒரு நிகழ்வாகும். நீர்த்த காந்த உலோகப் போலிகளில் (Cu, Ag, Au, Mg, Zn) குறைந்த அளவில் Cr, Mn, Fe போன்றவற்றைச் சேர்த்தால், குறைந்த வெப்பநிலையில் மின்தடையானது மிகக் குறைந்து காணப்படும். ஏனெனில், மாசு அணுக்கள் மீது காந்தப்பாயம் (magnetic moment)

இருப்பதால் மேற்கூறியவாறு அமைகிறது. குறைந்த வெப்ப நிலையில் காந்த அயனிகளின் மிகைசிதறல் தன்மையானது பரிமாற்ற இணைப்பு மற்றும் பெர்மி பரப்பின் தெளிவான தன்மையின் காரணமாக குறைந்த வெப்பநிலையில் ஏற்படுகிறது. மேற்கூறிய தன்மையானது கூடுதல் எலக்ட்ரான் சிதறல்களினால் ஏற்படுகிறது.

92 சகப்பிணைப்புப் படிகங்கள் (Covalent crystals)

அணுப்பிணைப்பில் பங்குபெறும் இரு அணுக்களும், ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட எலெக்ட்ரான்களைத் தாமே ஈந்து, பிணைப்பை ஏற்படுத்திக் கொள்வது சகப், பிணைப்பு ஆகும். பிணைப்பில் பங்கு பெறும் எலெக்ட்ரான்கள் அவற்றிற்குரிய அணுக்களின இணைப்புப் பகுதியில் சரிபங்கை நாடி இயங்குகின்றன. அதனால் இரண்டு அணுக்களும் மந்த வாயுக்களின் கடைசிக் கூட்டின் எலெக்ட்ரான் கூட்டமைப்பைப் பெறுகின்றன. பிணைப்பை உருவாக்கும் இரு எலெக்ட்ரான்களின் சுழற்சிகளும் (spins) இணைப்புப் பகுதியில் எதிர்எதிர் திசைகளில் இருக்கும். பூர்த்தியான எலெக்ட்ரான் கூடுகளையுடைய இரு அணுக்களினிடையே உறுதியான எதிர்ப்புவிசை ஒன்று நிலவும். எலெக்ட்ரான் கூடுகள் பூர்த்தியடையாவிட்டால், எலெக்ட்ரான்கள் உயர் ஆற்றல் மட்டத்திற்குக் கிளர்ச்சியாகாமலேயே அவற்றில் மேல்படிதல் பங்கீடு (overlap) ஏற்படும். இதனால் இணைப்பு நீளம் குறுகியிருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, ஆர்கான் திடப் பொருளில் அடுத்தடுத்த அணுக்களிடையே உள்ள தூரம் 3.76Å ஆனால் குளோரின் மூலக்கூறில் (Cl_2) அணுக்களினிடையேயான தூரம் 2Å மட்டுமே. ஆக, பூர்த்தியாகாத கூடுகளையுடைய அணுக்களின் பிணைப்பு உறுதியானவை. அயனிப் படிகங்களுக்கும் சகப்பிணைப்புப் படிகங்களுக்கும் இடையே ஒருவகை இடையறாத தொகுதிப் படிகங்கள் உள்ளன. இவற்றில் அயனித் தன்மையும் சகப்பிணைப்புத் தன்மையும் வெவ்வேறு தகவில் சேர்ந்திருக்கும். எனவே ஒரு படிகம் அயனிப் படிகமா சகப்பிணைப்புப் படிகமா என்று முடிவு செய்யுமுன், அதில் எந்த அளவிற்கு அயனிப் பங்கும் சகப் பிணைப்புப் பங்கும் இருக்கின்றன என்பதை நிாணயிக்க வேண்டும்.

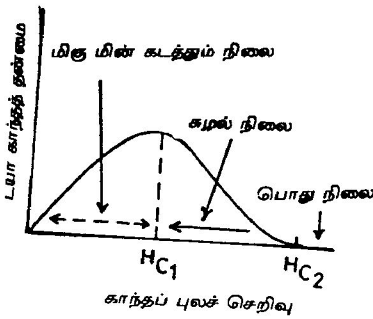
93 சமச்சீர் செயற்பாடு (Symmetry operation)

சமச்சீர் அடிப்படைக்கூறுகள் அதிக எண்ணிக்கையில் உள்ளன. எடுத்துக் காட்டாக, தனித்தன்மை (identity), சுழற்சி (rotation), எதிரொளிப்பு (reflection), சுழற்சியுடன் கூடிய எதிரொளிப்பு (rotational reflection), மற்றும் எதிர்மாறாக்கல் (inversion) என்பன சமச்சீர் அடிப்படைக் கூறுகளில் சிலவாகும். படிகங்களில் மூலக்கூறுகள் சில செயற்பாடுகளுக்குக் கீழ்ப்படிகின்றன. அத்தகைய செயற்பாட்டிற்குப் பின்பும் படிக அமைப்பு மாறாமல் இருநததென்றால் அந்த வகையான செயற்பாடு சமச்சீர்ச் செயற்பாடு என்றழைக்கபபடுகிறது. வெவ்வேறு வகையான புள்ளிக் குழுக்களின் (point groups) கீழ் எல்லா மூலக்கூறுகளும் வகைப்படுத்தப்படுகின்றன.

94 சுழல் நிலை (Vortex state)

இது நியோபியம்–சிர்க்கோனியம், நியோபியம்–டைட்டேனியம், வனேடியம்–காலியம் முதலிய உலோகக் கலவைகளின் இரண்டாம்வகை மிகுமின் கடத்திகளில் (Type II super conductors) மிகுமின் கடத்தும் திறன் காந்தப் பாயத்தால் எவ்வாறு பாதிக்கப்படுகிறது என்பதைப் பற்றியதாகும். மிகுமின் கடத்தும் நிலையின்போது பருப்பொருள் டயா காந்தத் தன்மையுடன் விளங்கும். எனவே காந்தப்புலம் பருப்பொருளை விட்டு வெளித் தள்ளப்படும்.

காந்தப்புலத்தின் வலிமை சுழி மதிப்பிலிருந்து சிறிது சிறிதாக உயர்த்தப்படும்போது பொருளின் டயா–காந்தம் படிப்படியாக உயர்கிறது; ஆனால்



புலத்தின் செறிவு $^{H}C_1$–எனும் மதிப்பிற்கு மேற்பட்டால், பொருளின் டயா காந்தத்தன்மை படிப்படியாகக் குறைந்து $^{H}C_2$–ல் அது அறவே நீக்கப் படும். அதாவது, காந்தப்புலத்தின் பாயக் கோடுகள் அனைத்தும் பொருளின் மேற்பரப் பிற்கு வெளியே இராமல், ஒரு சில கோடுகள் மட்டும் பொருளினுள் ஊடுறுவிச் செல்லும்நிலை ஏற்பட்டு விடுகிறது. எனவே, இவ்விடை நிலையில் அம்மிகுமின் கடத்தி முழுமையான டயா காந்த மாகச் செயல்படாது. மேற்கூறப்பட்ட காரணத்தால் இவ்விடை நிலை "சுழல் நிலை" யென அழைக்கப் படுகிறது. காந்தப் புலத்தின் வலிமை $^{H}C_2$–க்கு மேல் உயர்த்தப்படுமானால் பொருளின் மிகுமின் கடத்தும் திறன் அறவே அழிக்கப்பட்டு அப்பொருள் பொது நிலைக் கடத்தியாகச் செயல்படும்.

95 சூரிய மின்கலம் (Solar cell)

சூரிய மின்கலம் ஒரு P-N சந்தி டையோடினால் ஆனது. இது சூரிய ஆற்றலை நேரடியாகவும் திறமையாகவும் மின்னாற்றலாக மாற்றும் திறன் வாய்ந்தது. P-N சந்தியில் விழும் ஒவ்வொரு ஒளி போட்டானும் எலக்ட்ரான்–துளை இணையைத் தோற்றுவிக்கிறது. எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் சந்தியில் விரவும்போது (diffuse) மின்னழுத்தம் ஏற்படுகிறது. சிலிக்கான் குறைகடத்தியின் ஆற்றல் இடைவெளி 1.1 எலக்ட்ரான் வோல்ட் ஆகும். சூரிய ஒளியின் ஆற்றல் மிக்க பச்சை நிற போட்டானின் ஆற்றல் 2.5 எலக்ட்ரான் வோல்ட். எனவே P-N சந்தியில் அவ்வொளி விழும்போது எளிதில் எலக்ட்ரான்–துளை இணையை ஏற்படுத்தும். இதனால் சிலிக்கான் P-N சந்தி கதிரவ மின்கலமாகப் பயன்படுத்தப் படுகிறது. இந்த மின்கலம் அதன்மீது விழும் சூரிய ஒளி ஆற்றலில் 14 முதல் 20 விழுக்காடு வரை மின்னாற்றலாக மாற்றக் கூடியது. இயங்கும் பகுதிகளே இல்லாத இவ்வகை மின்கலத்தில் எந்தவொரு பகுதியையும் குளிர்விக்க வேண்டியதில்லை. எனினும் இவற்றின் மூலம் மின்சாரத்தைச் சேமிக்க இயலாது என்பது ஒரு குறைபாடாகும்.

விண்வெளிக் கலங்களின் (space vehicles) பல பகுதிகளைத் திறமையாக இயக்கிச் செயற்படுத்தவும், கணக்கிடும் கருவிகள் (calculators), மின்சாதனங்கள் ஆகியவற்றை இயக்கவும் தெருவிளக்குகளை எரிய வைக்கவும் சூரிய மின்கலம் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

96 செயற்படு பொருண்மை (Effective mass)

படிகங்கள் இடையொழுங்காய் (periodic) தொடர்ந்திருக்கின்றன. இதனால் ஏற்படும் இடையொழுங்கான படிக மின்னழுத்தத்துடன் மின்காந்தப் புலத்தின் ஆளுகைக்கு உட்படுத்தப் பட்டிருக்கும் திடப்பொருளினுள் அடைபட்டிருக்கும் கடத்துகை எலக்ட்ரான் களின் இயக்கத்தை விளக்கிக் கூறுவதற்கான ஓர் எளிய நடைமுறை உருவகமே செயற்படு பொருண்மையாகும். இத்தகைய எலக்ட்ரான்கள், இயல்பாகவே அமைந்திருக்கும் படிக மின்னழுத்தத்தை (crystal potential) உணர்வதுடன் மின்காந்தப்புலத்தினால் எழும் புதிய சிற்றுலைவையும் (perturbation) எதிர்நோக்க வேண்டியிருக்கிறது. இப்படிப்பட்ட சூழ்நிலையை எளிதில் விளக்குவதற்காக, படிக மின்னழுத்தத்தில் மட்டும் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் எலக்ட்ரான்கள், சுழி மின்னழுத்த மண்டலத்தில் இயல்பான பொருண்மையிலிருந்து மாறுபட்ட பொருண்மையுடன் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் எலெக்ட்ரான்களாக உருவகிக்கப் படுகின்றன. படிக மின்னழுத்தம், எலக்ட்ரான்களின் இயக்கத்தில் உண்டாக்கும் விளைவு, முற்றிலுமாக செயற்படு பொருண்மையினால் ஏற்றுக்

கொள்ளப்படுகிறது. எனவே வெளிப்புற மின்காந்தப்புலங்களில் எலக்ட்ரான்களின் இயக்கம் எவ்வாறு பாதிக்கப்படுகிறது என்பதை அறிந்து கொள்வது எளிதாகிறது.

செயற்படு பொருண்மையை எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல்–அலைவுத்திசை வரைபடத்தின் வளைவி (curvature)லிருந்து தருவிக்கலாம். எளிய உலோகங்களில், சராசரி செயற்படு பொருண்மை அதன் இயல்பான பொருண்மையிலிருந்து வெகுவாக வேறு பட்டிருப்பதில்லை. சில குறைகடத்திகளில், எலக்ட்ரான்களில் செயற்படு பொருண்மை மிகக் குறைந்த மதிப்பையும் கொண்டிருக்கிறது. எடுத்துக்காட்டாக ஜெர்மானியத்தில் இதன் மதிப்பு 0.17 m_0 ஆகும். பொதுவாக வெவ்வேறு திசைகளில் வெவ்வேறு மதிப்பைக் கொண்டிருப்பதால் செயற்படு பொருண்மை ஒரு டென்சார் அளவீடு ஆகும்.

97 டிபை – வாலர் காரணி (Debye - Waller factor)

ஒரு படிகத்திலுள்ள அணுக்கள் ஓய்வில்லாமல் எப்பொழுதும் தங்களது சராசரி நிலையிலிருந்து அதிர்ந்து கொண்டேயிருக்கும். அணுக்களின் வெப்ப அதிர்வு உயர உயர, அணுக்களின் சிதறல் காரணி (scattering factor) குறைந்து கொண்டே வரும். வெப்ப நிலை உயரும் பொழுது அணுக்களின் சராசரி அதிர்வு வீச்சும் உயர்வடைவதால், உயர்வெப்பநிலையில அணுச்சிதறல் ஆற்றல் குறையும். இவ்விளைவு குறிப்பாக உயர் கோணங்களில் வெகுவாகத் தென்படும். இச்சிதறல் ஆற்றல் குறைவு தோராயமாக அணுச்சிதறல் காரணி f-ஐ, $\exp[-B(\sin^2\theta)/\lambda^2]$ என்ற சார்பத்தைக் கொண்டு பெருக்கிப்பெறப்படுகிறது. இந்தச் சார்பத்தில் $B\ (= 8\pi < U^2 >)$ என்பது டிபை – வாலர் காரணியாகும். $< U^2 >$ என்பது அணுக்களின் இருமடி அதிர்வு வீச்சின் சராசரி ஆகும்.

98 டி ஹாஸ் – வான் ஆல்பன் விளைவு (de Haas van Alphen effect)

ஒரு மின் கடத்தியை (metal) நிலையான காந்தப்புலத்தில் வைக்கும் போது ஏற்படும் காந்தத் திருப்புதிறனின் (magnetic moment) அலையியக்கத்தைப் (oscillations) பற்றியதாகும் இவ்விளைவு. இது ஒரு குவாண்டம் விளைவு. இவ்விளைவைக் காணத் தேவையானவை – தூய மின்கடத்தி, மிகக் குறைந்த வெப்பநிலை மற்றும் மிக ஆற்றல் வாய்ந்த காந்தப்புலம். இவ்விளைவைப் பயன்படுத்தி ஒரு மின் கடத்தியின் பெர்மி தளத்தை (Fermi surface) அறிந்து கொள்ளலாம். காந்தத் திருப்புதிறனின் அலைவுறு நேரம், $\Delta(1/B)$ காந்தப்புலத்திற்கு செங்குத்துத் திசையில் பெர்மி தள அதி அல்லது குறை குறுக்குவெட்டுப் பரப்பு S என்றால், இவற்றை இணைக்கும் சமன்பாடு

$$\Delta\ (1/B) = e / hCS$$

இதில் B, காந்தப்புலம் ; e, எலெக்ட்ரான் மின்னூட்டம்; C, ஒளி திசைவேகம், h, பிளாங் மாறிலி. காந்தப்புலத்தை வெவ்வேறு திசைகளில் அமைத்து பெர்மி தளத்தின் அமைப்பையும் அறிந்து கொள்ளலாம்.

99 தலைகீழ் அணிக்கோவை (Reciprocal lattice)

X-கதிர் விளிம்பு விளைவின் பிராக் விதி $2d\sin\theta = n\lambda$ என்பதை நாம் அறிவோம். இதை $\sin\theta = (n\lambda/2)(1/d)$ என்றும் எழுதலாம். இதிலிருந்து, $\sin\theta$–வின் மதிப்பு, இணை தளங்களுக்கிடையிலுள்ள செங்குத்துத் தூரமான d–க்கு தலைகீழ் தொடர்புடையது என்பது தெளிவாகிறது. $\sin\theta$–வும், d-யும் நேர் தொடர்புடைய ஒரு தொகுப்பு (system) இருந்தால், X-கதிர் விளிம்பு விளைவுச் சோதனைகளில் பெறப்படும் அமைப்புகளை (pattern) தெளிவாக விளக்க ஏதுவாகும். இத்தகைய ஒரு தொகுப்பு தலைகீழ் அணிக்கோவை எனபபடும். ஓர் தலைகீழ் அணிக்கோவையைப் பெறக் கீழ்கண்ட முறை கையாளபபடுகிறது. ஏதேனும் ஒரு அணிக்கோவைப் புள்ளியிலிருந்து நேர்

அணிக்கோவைத் தளங்களுக்கு, (h, k, l), செங்குத்துக் கோடுகள் செல்வதாகக் கொள்வோம். ஒவ்வொரு செங்குத்துக் கோடும் $1/d_{hkl}$ என்ற தூரத்திற்கு ஒரு புள்ளியில் முடிவடைவதாகக் கருதுவோம். இவ்வாறாகப் பெறப்பட்ட எல்லாப் புள்ளிகளின் தொகுப்பே தலைகீழ் அணிக்கோவையாகும்.

100 தளர்வு காலம் (Relaxation time)

அணுக் கருக்கள் மின்னூட்டம் கொண்டிருப்பதாலும், தற்சுழற்சியைப் பெற்றிருப்பதாலும், அவற்றைக் குறிப்பிட்ட காந்தத் திருப்புதிறனைக் கொண்ட இருமுனைகளாக (dipole) கருதலாம். இத்தகைய கருக்காந்தம் (nuclear magnet) சீரான காந்தப்புலத்துக்கு உட்படுத்தப்படும்போது அக்காந்தப்புலத்தின் திசையைப்பற்றி அச்சுச் சுழற்சியை (precession) மேற்கொள்கிறது. ஆனால் இந்நிலையில் காந்தமாக்கம் ஏற்பட வேண்டுமாயின், இருமுனைகள் காந்தப்புலத்தின் திசைக்குத் தம்மை மாற்றிக் (align) கொள்ள வேண்டும். அவ்வாறு மாற்றிக்கொள்ள வேண்டுமாயின், கருக்கள் தம் சுற்றுப்புறத்துடன் பரிமாற்றம் செய்வதன் மூலம் சிறு ஆற்றலை இழக்க வேண்டும். இவ்வாறு கருக்கள் தமது மிகுபடு (excess) தற்சுழற்சி ஆற்றலை, சுற்றுப்புறத்துடன் அல்லது மற்ற கருக்களுடன் பகிர்ந்து கொள்ளும் இந்நிகழ்ச்சிக்கு தளர்வு நிகழ்வு (relaxation process) எனப்பெயர். மிகுபடு ஆற்றலைச் செலவழிக்கக் கருக்கள் எடுத்துக் கொள்ளும் காலம் தளர்வுகாலம் எனப்படும். கருக்களுக்கு, 1) தற்சுழற்சி–அணிக்கோவைத் தளர்வு (spin-lattice relaxation), 2) தற்சுழற்சி–தற்சுழற்சித் தளர்வு (spin-spin relaxation), ஆகிய இரு தளர்வு நிகழ்வுகள் ஏற்படுகின்றன. முதல்வகைத் தளர்வின்போது ஆற்றல் அணிக் கோவைகளுடன் பங்கிடப்படுகிறது. இரண்டாவது தளர்வில் கருக்கள் தம்மிடையே நிலவும் தற்சுழற்சிகளின் இடைவினை(interaction)யினால் ஆற்றல் பங்கிடப்படுகிறது. பொதுவாகத் திண்மங்களுக்குத் தற்சுழற்சி அணிக்கோவைத் தளர்வுகாலம் மிகக் குறைவாக (10^{-4} வினாடி அளவில்) இருக்கும். திரவங்களுக்குத் தற்சுழற்சி அணிக்கோவைத் தளர்வுகாலம் மற்றும் தற்சுழற்சி–தற்சுழற்சித் தளர்வுகாலம் ஆகிய இரண்டும் ஏறத்தாழ சம அளவில் இருக்கும்.

101 தற்சுழற்சி அலை ஒத்ததிர்வு (Spin wave resonance)

மெல்லிய ஏட்டின் (Film) மேல்தளத்தில் அமைந்துள்ள எலக்ட்ரான் தற்சுழற்சியானது உட்புற எலக்ட்ரான் தற்சுழற்சியைவிட அதிகமாக வெவ்வேறு திசையொவ்வாப் பண்பியலான புலங்களைத் தன் வயத்தே கொண்டிருக்குமானால், சீரான அதிர்வெண்ணுள்ள காந்தப்புலங்கள் நீளமான அலைநீளமுள்ள தற்சுழற்சி அலைகளை (Spin waves) மெல்லிய ஃபெரோ காந்த ஏடுகளில் (thin ferromagnetic films) அதிர்வடையச் செய்யும். பயன்படுத்தப்படும் காந்தப் புலம் மெல்லிய ஏட்டிற்கு செங்குத்தாக இருக்கும்போது, தற்சுழற்சி அலை ஒத்திசைவு நிகழ தேவையான நிபந்தனை

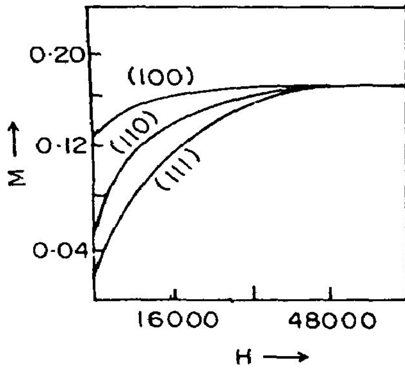
$$\omega_o = \gamma(B_o - \mu_o M) + DK^2 = \gamma(B_o - 4\pi M) + D(n/\pi L)^2$$ ஆகும்.

ω_o ஒத்ததிர்வு அதிர்வெண்; γ–சுழலியக்க காந்த விகிதம்; B_o வெளிப்புற காந்த புலம்; M-காந்தமாக்கல்; (Magnetisation); D-தற்சுழற்சி அலை பரிமாற்று மாறிலி; K-அலை எண்; L-மெல்லிய ஏட்டின் தடிமன்.

102 திசை ஒவ்வாப் பண்பியல் ஆற்றல் (Anisotropy energy)

ஒரு பெரோ காந்தப் படிகத்தில் காந்தமாக்கும் புலம் (magnetising field) H-க்கும், காந்தமாக்கம் (magnetisation) M-க்கும் உள்ள தொடர்பு, அப்படிகத்தின் காந்தமாக்க திசையைப் பொறுத்தது என்பது சோதனை மூலமாக அறியப்பட்டுள்ளது. எடுத்துக்காட்டாக, இரும்பின் வெவ்வேறு படிக அச்சுகளில் காந்தப் புலத்தைச்

செலுத்துவதால் பெறப்படும் காந்தமாக்க வளைகோடுகள் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன. படத்திலிருந்த காந்தவியற் தெவிட்டு நிலையை (magnetic saturation) உருவாக்க, (100) எனும் திசையோடு ஒப்பிடுகையில் (111) எனும் திசைக்கு மிக அதிகமான காந்தப்புலம் தேவை என்பதை உணரலாம். இதனால் (100) எனும் திசை எளிய திசை எனவும், (111) எனும் திசை கடின திசை எனவும் அழைக்கப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, இரும்பு எனும் சதுரப் படிகத்திற்கு கனசதுரத்தின் முனைகளும், நிக்கல் எனும் கன சதுரப் படிகத்திற்கு மூலைவிட்டங்களும் எளிய திசைகளாகும். தெவிட்டு நிலையை உருவாக்க எளிய திசை, மற்றும் கடின திசைகளுக்கிடையே உண்டாகும் காந்தவியல் ஆற்றல் மாறுபாடு திசையொவ்வாப் பண்பியல் (anisotropy) ஆற்றல் என அழைக்கப் படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, இரும்புக்கு திசையொவ்வாப் பண்பியல் ஆற்றல் 1.4 x 10^4 ஜூல்ஸ்/மீட்டர் ஆகும்.



103 **துளைத்துச் செல்லல்** (Tunnelling)

பணடைய இயற்பியல் விதிகளின்படி இயலாத, குவாண்டவியல் மூலமாகவே விளக்கக் கூடிய நிகழ்ச்சிகளில் ஒன்று துளைத்துச் செல்லல் ஆகும. நிலைஆற்றல் அணுவுக்குள் இருக்கும எலக்ட்ரான் அணுவுக்கு வெளியே வருவது இம்முறையில்தான் (ஆல்பா துகள்கள் அணுக் கருவிலிருந்து வெளிவருவது இம்முறையிலேதான்). இது துகளகளின் அலைப பணபால் நிகழ்கிறது. மீக் கடத்தும் எலக்ட்ரான்கள் துகளாகச் செயற்படாமல அலைகளாகச் செயற்படுவதன் மூலம் இது இயலுகிறது. இரண்டு மீக் கடத்திகளுக்கிடையே ஒரு மெல்லிய கடத்தாப பொருளை வைக்கும்போது, எலக்ட்ரான்கள் ஒரு கடத்தியிலிருந்து மற்றொரு கடத்திக்குச் செல்வதைக் கடத்தாப் பொருள் தடை செய்கிறது. ஆனால், இவ எலக்ட்ரான்களின் அலைப் பண்பு இத்தடையை மீறித் துளைத்துச செலல வகை செய்கிறது. ஜோஸப்சன் என்பவர் 1962–ஆம் ஆண்டு துளைத்துச் செலலல் தனியான எலக்ட்ரான்களால் மட்டுமின்றி, கூப்பர் இணைகளாலும முடியும் என்று நிரூபித்தார.

104 **நகர்திறன்** (Mobility)

ஒரு திணமத்தில் ஓரலகு மின்புலத்துக்கு (unit electric field) உட்படும எலக்ட்ரான்களின் நகர்வுத் திசைவேகம் (drift velocity) நகர்திறன் எனப்படும். மின்புலத்துக்கு உட்படும ஒரு கடத்தியில் அல்லது குறைகடத்தியில் தோன்றும் நிலைமின் விசையால் எலக்ட்ரானகள முடுக்கம் பெறுகின்றன. எனினும் அயனிகளுடன் மோதும்போது ஆற்றல் இழந்து திசைமாற்றம பெறுகின்றன. சீரான நிலையில், அவை நகர்வு திசைவேகத்தை அடைகின்றன. இந்நகர்வுத் திசைவேகம் மின்புலத்துக்கு நேர்தகவில் அமையும். E மின்புலத்தில, எலக்ட்ரான்களின நகர்வுத் திசைவேகம் v எனின்,

$$v \propto E$$

$= \mu E$. இங்கு μ என்பது நகர்திறன் ஆகும்.

எனவே, $\mu = v/E$. எலக்ட்ரான் இயக்கம், துளை இயக்கம் ஆகிய இரண்டிலும் நகர்வுத் திசைவேகம எதிர்த்திசைகளில் இருந்தாலும், நகர்திறன் நேர்குறியையே கொண்டிருக்கும். ஓர் உள்ளார்ந்த குறைகடத்தியில் (intrinsic semi-conductor) எலக்ட்ரானகளுக்கும் போனான்களுக்கும் (phonons) இடையே ஏற்படும் மோதல்

களினின்றும் அக் குறை கடத்தியின் நகர்திறனைக் கணக்கிடலாம். ஒரு குறைகடத்தியின் வெப்பநிலைக்கு ஏற்ப மாறும் நகர்திறன் அக் குறைகடத்தியின் மின்கடத்துத் திறனை கணக்கிடப் பயன்படுகிறது. ஆற்றல் இடைவெளி குறைவாகவுள்ள படிகங்களுக்கு எலக்ட்ரான் நகர்திறன் அதிகமாகவிருக்கும்.

105 நைட் விலகல் (Knight shift)

ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணில், அணுக்கருவின் காந்த ஒத்திசைவு, (nuclear magnetic resonance) டயா காந்தத் திண்மப் பொருளைவிட உலோகப் பொருளில் சிறிதளவு மாறுபட்ட காந்தப்புலத்தில் தோன்றுகிறது. இச் செயலே நைட் விலகல் என அழைக்கப்படுகிறது. கடத்தி எலெக்ட்ரான்களைப் பற்றிப் படிக்கும்போது இவ்விளைவு பெரிதும் பயனுள்ளதாக உள்ளது. உலோகங்கள், உலோகப் போலிகள், மென்மை மற்றும் இடைப்பட்ட உலோகங்களின் மிகைக்கடத்திகளிலும் (super conductors) அதிகம் உபயோகத்தில் இல்லாத மின்னணு அமைப்புகளிலும் நைட் விலகல் பண்பு பயன் படுத்தப் படுகிறது.

106 படிகக் கட்டமைப்பு (Crystal structure)

தொடர்ந்த, மறுபகர்ப்பு அணுக்களாலான படிகக் கட்டடம் மாறாத சூழ்நிலைகளில் வளரும்போது, அதன் வடிவம் (shape) மாறாததாக உள்ளது. படிகம் என்பது அணுக்களின் முப்பரிமாணவியலான ஓர் ஒழுங்கான வரிசையாகும். ஒவ்வொரு அணுவையும் ஒரு குறிப்பிட்ட ஆர அளவைக் கொண்ட ஒரு கோளமெனக் கொண்டால், அத்தகைய பல கோளங்களை ஒரு நிலையான குறைந்த பகுதியில் நிரப்பிய தோற்றத்தினையே படிகக் கட்டமைப்பு என்கிறோம். படிகங்களை வடிவியல் அமைப்பில் 32 வகைகளாகப் பிரித்துள்ளனர்.

107 படிகப் பிணைப்புகள் (Crystal bindings)

திண்மப் பொருட்களிலுள்ள அணுக்களுக்கும், மூலக்கூறுகளுக்கும் இடையேயுள்ள விசை மின்னியல் தன்மை கொண்டது. மின்னியல் விசை பல மாறுபட்ட வகைகளில் இருப்பதால், மாறுபட்ட வகையான பிணைப்புகள் தோன்றுகின்றன. இப்பிணைப்பு திண்மப் பொருட்கட்கு மாறுபட்ட பண்புகளைத் தருகின்றன. திண்மப் பொருட்களிலுள்ள பிணைப்புகள் : 1. அயனிப் பிணைப்பு (ionic bond); 2. சகப் பிணைப்பு (covalent bond); 3. உலோகப் பிணைப்பு (metallic bond); 4. மூலக்கூறு அல்லது வான் டெர் வால் பிணைப்பு (molecular or van der Waals bond).

அயனிப் பிணைப்பில், திண்மப் பொருட்களிலுள்ள அணுக்களுக்கிடையே எலக்ட்ரான் பரிமாற்றம் ஏற்படுவதால், எதிர் மின்னூட்ட அயனிகள் தோன்றி, ஈாபுமின்னியல் விசை ஏற்படுகிறது. சோடியம் குளோரைடு படிகம் அயனிப் பிணைப்பிற்கு எடுத்துக்காட்டாகும். அணுவின் முற்றுப் பெறா வெளிக் கூட்டிலுள்ள இணைதிறன் எலக்ட்ரான்கள் பகிர்வு கொள்வதால், சகப் பிணைப்பு தோன்றுகிறது. வைரம், சிலிகான், ஜெர்மானியம் போன்றவை சகப் பிணைப்புப் படிகங்களாகும். அதிக மின்கடத்தல் பண்பைப் பெற்றதே உலோகமாகும். இங்கு எலக்ட்ரான்கள் அணுக்களிலிருந்து பிரித்தெடுக்கப்பட்டு அணிக்கோவையின் நேர் அயனிகளின் வழியாகக் கட்டின்றித் திரிகின்றன. இவை கட்டற்ற எலக்ட்ரான் வாயு எனப்படும். நேர்மின் அயனிகளுக்கும எலக்ட்ரான்களுக்கும இடையே உள்ள நிலைமின்னியல் ஈர்ப்பு விசையே உலோகப் பிணைப்பு ஆகும். அணுக்களின் இணைதிறன் எலக்ட்ரான்களே உலோகங்களின் கடத்தல் எலக்ட்ரான்களாகும். மந்த வாயுக்களில் இணைதிறன் எலக்ட்ரான்கள் கிடையாது. எனவே பிணைப்பு ஏற்பட வழியில்லை. இருப்பினும், குறைந்த வெப்பநிலையிலும், உயர் அழுத்தத்திலும் இவை திரவமாகவும், திண்மப்

பொருட்களாகவும் மாறுகின்றன. இவற்றிலுள்ள ஒவ்வொரு அணுவும் மற்ற ஓர் அணுவில் இருமுனைவு திருப்புதிறன்களை (dipole moments) தூண்டுகின்றன. இவ்வாறு தூண்டப்பட்ட திருப்புதிறன்கள் அணுக்களுக்கிடையே ஒரு ஈர்ப்பு விசையைத் தோற்றுவிக்கிறது. இவ்வகையான பிணைப்பை வான் டெர் வால் பிணைப்பு என்பர்.

108 பர்கெர்ஸ் திசையிகள் (Burgers vectors)

இடமாற்றங்கள் ஒரு படிகத்தில் படிகம் முழுவதுமாகவோ அல்லது மூடிய வளைவாகவோ இருக்கலாம். அதனால் இதனை அமைப்புகளை வைத்து விவரிக்க முடியாது. ஏனெனில் இவை இருக்கும் நிலையைப் பொறுத்து மாறுபடும். எல்லா இடமாற்றங்களின் குணநலன்களையும் ஒரு திசையினால் குறிப்பிட முடியும். ஒரு படிகத்தின் வழியாக இடமாற்றம் செல்லும்போது அதனால் உண்டாகும் வழுக்கல் (slip) அளவையும் திசையையும் குறிக்கும் திசையி பர்கெர் திசையி என அழைக்கப்படுகிறது. இத் திசையின் அளவெண் அணுவிடை தூர அளவில் இருக்கிறது. ஒரு படிகத்தில் இடமாற்றம் திசை தானாகவே மாறினாலும், பர்கெர் திசையி எல்லா இடத்திலும் மாறிலியாக இருக்கும். பர்கெர் திசையி வழுக்கல் தளத்தில் (slip plane) இருக்கிறது. மற்றும் விளிம்பு இடமாற்றத்திற்கு நேர்குத்தாகவும், திருகு இடமாற்றத்திற்கு இணையாகவும் இருக்கும்.

109 பரா, பெரோ, எதிர் பெரோ, பெரி காந்தங்கள் (Para, ferro, anti - ferro and ferri magnetism)

பரா காந்தம் (paramagnetism)

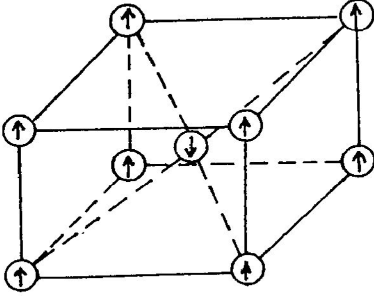
சில பொருட்கள் காந்தப் புலத்தில் (மிகத் தாழ்வெப்பநிலையோ மிக அதிக வலிமையான காந்தப்புலங்களோ அல்லாதவிடத்து) வைக்கப்படும்பொழுது, காந்தப்புலத் திசைக்கு இணையான திசையில், காந்தப்புலத்திற்கு நேர்தகவில் காந்தமாதலுக்கு, பரா காந்தம் அல்லது நேர்காந்தம என்று பெயர். பரா காந்தப் பொருட்களின் உட்புகுதிறன், (μ >1) ஆகும். பரா காந்தம் இரண்டு வகைப்படும். ஒன்றிற்கு எலக்ட்ரானியல் பரா காந்தம் என்றும, மற்றொன்றிற்கு அணுக்கரு பரா காந்தம் என்றும் பெயர். பொருளில் உள்ள அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகளின் எலக்ட்ரானியல் காந்தத் திருப்ப,திறன்கள் (electronic magnetic moments) காந்தப் புலத்திற்கு இணையாக நிலை நிறுத்தப் படுவதால் அஃது எலக்ட்ரானியல் பரா காந்தம் என்றழைக்கப் படுகிறது. பொருளில் உள்ள அணுக் கருக்களின் காந்தத் திருப்புதிறன்களின் பயனாகப் பொருளில் ஒத்த காந்தத் திருப்புதிறன் ஏற்படுமேயானால், அஃது அணுக்கரு பரா காந்தம் என்றழைக்கப்படுகிறது.

பெரோ காந்தம் (Ferromagnetism)

இது சில உலோகங்கள், உலோகக் கலவைகள், அருமண், ஆக்டினைட் தனிமங்கள் போன்றவை கொண்டுள்ள பண்பாகும். இவ்வகைப் பொருட்களில், கியூரி வெப்பநிலைக்குக் கீழ், அணுக்காந்தத் திருப்புதிறன்கள் அனைத்தும் பொதுவான ஒரே திசையை நோக்கி நிலை நிறுத்தப் படுகின்றன. இப்பொருள்களுக்கிடையே வலிமையானதொரு காந்த ஈர்ப்பு விசை காணப்படுகிறது. கியூரி வெப்பநிலைக்குக் கீழ், காந்தப்புலம் செயற்படாதிருக்கும்பொழுது தன்னிகழ்வான காந்தத் தன்மையைப் (spontaneous magnetisation) பெற முடிகிறது. ஒரு வலுவிழந்த (weak) காந்தப்புலம் செயற்படும்பொழுது, அதன் காந்தத் தன்மை நிறைச்செறிவு காந்தம் (saturation magnetisation) என்றவொரு உச்ச மதிப்பை விரைந்து அடைகின்றன.

எதிர் பெரோ காந்தம் (antiferromagnetism)

சில உலோகங்கள், உலோகக் கலவைகள், நிலைமாறும் தனிமங்களின் உப்புக்கள் (salts of transition elements) இப்பண்பைப் பெற்றுள்ளன. சுழிக் காந்தப் புலத்தில் வைக்கப் படும்பொழுது, போதுமான அளவு, குறைந்த வெப்பநிலையில், இவ்வகைப் பொருட்களின் காந்தத் திருப்புதிறன்கள், ஒழுங்கான அணியமைப்பதால், அது சுழன்றோ திசைமாறியோ மொத்த திருப்புதிறனை (net total moment) சுழியாக்குகிறது. மாங்கனீஸ் புளூரைடில் எதிர் பெரோ காந்தம் இருப்பதைப் படம் காட்டுகிறது. இங்கு மாங்கனீஸ் அணுக்கள் மட்டுமே காட்டப்பட்டுள்ளன.



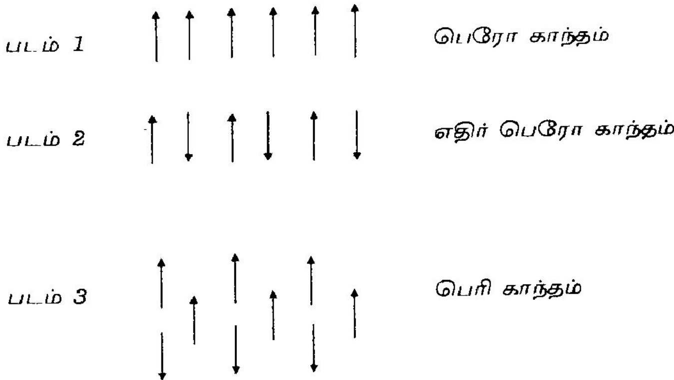
பெரோ காந்தத்தில் கியூரி வெப்ப நிலையைப் போல, எதிர் பெரோ காந்தம் நீல் வெப்ப நிலையைப் (Niel temperature) பெற்றுள்ளது. இஃது ஒரு மாறும் (transition) வெப்ப நிலையாகும். இந்த வெப்பநிலைக்குக் கீழ், எதிர் இணைக் காந்தச் சீரமைப்புதானே நிகழ்கிறது. இந்த வெப்ப நிலைக்குமேல், பொருட்கள் பாரா காந்தமாகின்றன.

பொருள்	படிக வகை	நீல் வெப்பநிலை (K)
MnO	NaCl	72
FeO	NaCl	122

பெரி காந்தம் (Ferrimagnetism)

இது ஒரு வகையான நிலைக் காந்தத் தன்மையாகும். இதில், அருகிலுள்ள அயனிகளின் காந்தத் திருப்புதிறன்களும், எதிரிணையாக ஒருங்கமையும் தன்மையைப் பெற்றுள்ளன. இது பெரைட் (ferrites) எனும் பொருட்களில் முதன்மையாகக் காணப்படுகிறது. நீல் என்பவர் 1948-ஆம் ஆண்டு பெரி காந்தம் எனும் சொல்லை

அணுகாந்தத்திருப்பு திறன்களின் அமைப்பு .

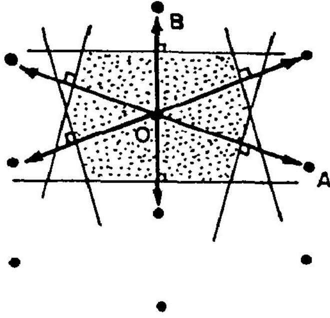


உருவாக்கினார். படம் 3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு, பெரி காந்தத்தில் உள்ள அணுக் காந்தத் திருப்புதிறன்கள், மிகத் தாழ்வெப்பநிலையில், மேலும் கீழுமாக, ஒரே அணியாக அமைந்து ஓரளவு தீர்ந்து விடுகின்றன (partially cancel). தீர்க்கப்படாத இறுதியாக உள்ள

திருப்புதிறன்கள், பெரோ காந்தப் பொருட்களின் பண்புகளுக்கு ஒத்துள்ளன. காந்தப் பண்புகளை, பருப் படிகங்களுக்குக் (macroscopic crystal) கொடுக்கின்றன.

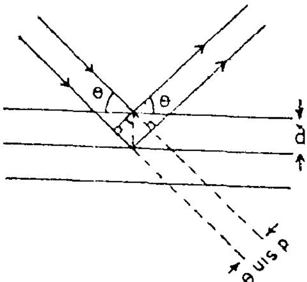
110 **பிரிலோயுன் மண்டலம்** (Brillouin Zone)

பிரிலோயுன் மண்டலம், விளிம்பு விளைவான $2d \sin \theta = n\lambda$ என்ற நிபந்தனைக்கு ஒரு வடிவு கணித விளக்கத்தைத் தருகிறது. இங்கு இரு பரிமாண பிரிலோயுன் மண்டலங்களைப் பெறும் முறை விளக்கப்படுகிறது. ஒரு படிகத்தின் தலைகீழ் அணிக்கோவையில் O என்ற ஒரு புள்ளியை எடுத்துக் கொள்வோம். அப்புள்ளியிலிருந்து அருகிலுள்ள மற்ற அணிக்கோவைப் புள்ளிகளுக்கு நேர்கோடுகள் வரையவும். பிறகு அக்கோடுகளுக்கு, அவற்றின் மையப் புள்ளியின் வழியாக செங்குத்துக் கோடுகள் வரையவும். இவ்வாறு வரையப்பட்ட செங்குத்துக் கோடுகளின் அடைப்புக்குள் கிடைக்கப் பெறும் மிகச் சிறிய பரப்பளவே முதல் பிரிலோயுன் மண்டலம் ஆகும். இது தலைகீழ் அணிக் கோவையின் விக்னர்-சீட்ஸ் (Wigner-Seitz) செல் என்றும் அழைக்கப்படுகிறது. (படம்: இரு பரிமாண பிரிலோயுன் மண்டலம்)



111 **பிராக் விதி** (Bragg's law)

முதன்முதலில் பிராக் (W.L. Bragg) என்பவர் X-கதிர்களின் விளிம்பு விளைவிற்கு எளிதான ஒரு விளக்கம் கொடுத்தார். அதாவது, X-கதிர்கள் படிகங்களின் இணையணிக் கோவைத் தளங்களின் மீது படும்பொழுது ஒளிக்கதிர்களைப் போலவே படு கோணமும் மீள்கோணமும் சமமாக இருக்கும்படி மீட்சியியலாக (elastically) எதிரொளிப்பிற்கு உள்ளாகின்றன. படத்தில் d என்பது இரு இணையணிக் கோவை சமதளங்களுக் கிடையேயான செங்குத்துத் தொலைவு. அடுத்தடுத்துள்ள இரு சமதளங்களிலிருந்து எதிரொளிப்பாகும் X-கதிர்களின் பாதைவேறுபாடு $2d\sin\theta$ ஆகும். இது X-கதிர்களுடைய அலை நீளத்தின் (λ) ஒரு முழுஎண் பெருக்கத்திற்கு சமமாக இருந்தால் ஆக்க சார்பான குறுக்கீட்டு விளைவு (constructive interference) நடை பெறும். இதுவே $2d\sin\theta = n\lambda$ என்று பிராக் விதி யாகிறது.



112 **பிளாக் சமன்பாடுகள்** (Bloch equations)

பிளாக் சமன்பாடுகள், அணுக்கரு ஒத்ததிர்வுச் சோதனைகளின் (nuclear resonance experiments) முடிவுகளை விளக்கப் பெரிதும் பயன்படுகின்றன. காந்தத் திருப்புதிறன் M மற்றும் அதோடு தொடர்புடைய கோண உந்தம் J, ஆகிய இரண்டுமே எலக்ட்ரான்கள் அல்லது கருக்களின் தற்சுழற்சியாலேயே தோன்றுகின்றன. இவற்றின் மீது ஒரு புறக் காந்தப்புலம் செலுத்தப்பட்டால், கோண உந்தம் Jயின் மீது ஒரு திருப்புவிசை T செயற்படும். இதனால் எடுத்துக்கொண்ட அமைப்பிற்கு குறிப்பிட்ட அச்சுழற்சி அதிர்வெண்ணுடன் கூடிய அச்சுச்சுழற்சி (precession) உண்டாகிறது. இப்பொழுது அதே அச்சுசுழற்சி அதிர்வெண்ணைக் கொண்ட, முதல் காந்தப்புலத்திற்கு நேர்குத்தான, இரண்டாவது மாறுதிசை காந்தப்புலத்தை (alternative magnetic field) செலுத்தினோமானால்,

அமைப்பு அதிக வீச்சுடன் (amplitude) அச்சுச் சுழற்சியை மேற்கொள்கிறது. இப்பொழுது செயற்படும் திருப்பு விசையை $\vec{T} = \vec{M} \times \vec{B}$ எனக்குறிக்கலாம். இங்கு $\vec{T}$ திருப்பு விசையையும், $\vec{M}$ மொத்த காந்தத் திருப்புதிறனையும், $\vec{B}$ செலுத்தப்பட்ட காந்தப்புலத்தின் மதிப்பையும் குறிக்கின்றன. மேலும்,

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = -\gamma \vec{M} \times \vec{B} \qquad (1)$$

இங்கு γ என்பது சுழல் காந்த மாறிலி ஆகும். $\vec{B}$ எனும் காந்தப்பு லத்தை $\vec{B} = \hat{K} B_0 + \vec{b}$ என இரு கூறுகளாகப்பிரித்து எழுதலாம். இங்கு B_0, Z-திசையில் செயற்படும் அதிக மதிப்புள்ள நிலையான கூறையும் (large static component) , b, xy தளத்தில் சிறிய மதிப்பைக் கொண்டுள்ள குறுக்குக் கூறையும் (transverse component)யும் குறிக்கிறது. $\hat{K}$, Z திசையில் அலகு திசையி (unit vector) ஆகும். இதே போல $\vec{M} = \hat{K} M_z + \vec{m}$ என எழுதலாம். M_z என்பது B_0க்கு இணையான ஆக்கக் கூறையும், $\vec{m}$, xy தளத்தில் குறுக்குக் கூறையும் குறிப்பனவாகும். சமன்பாட்டைச் சற்றே மாற்றியமைத்து இரு சமன்பாடுகளாக கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

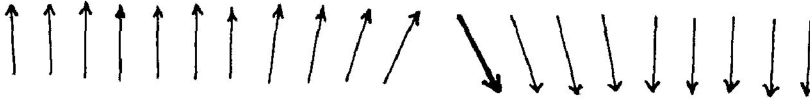
$$\frac{d\vec{M}_{xy}}{dt} = -\gamma (\vec{M} \times \vec{B}) - \frac{\vec{M}_{xy}}{T_2} \qquad (2)$$

$$\frac{d\vec{M}_z}{dt} = -\gamma (\vec{M} \times \vec{B}) - \frac{1}{T_1}(\vec{M}_z - \vec{M}_0) \qquad (3)$$

மேற்கண்ட சமன்பாடுகள் பிளாக் சமன்பாடுகள் (Block equations) என அழைக்கப்படுகின்றன. சமன்பாடு (3)-ல் $\vec{M}_z$ என்பது அந்தக் கணத்தில் (Instantaneous) காந்தமாக்கத்தின் z திசைஆக்கக் கூறையும், (Z component of magnetisation), $\vec{M}_0$ அதே திசையில் சமநிலை காந்தமாக்கத்தையும் (equilibrium magnetisation) குறிக்கின்றது. அப் போதைய மதிப்பிற்கும், சமநிலை மதிப்பு $\vec{M}_0$க்கும் உள்ள வேறுபாடு, $\vec{M}_z$, $\vec{M}_0$வை நோக்கிச் செல்லும் வீதத்திற்கு (rate) நேர்தகவில் அமைந்திருக்கும். இங்கு நேர்தகவு மாறிலி $1/T_1$ஆகும். இது T_1 எனும் தளர்வு காலத்துடன் (relaxation time) கூடிய காந்தத் தளர்வுப் பண்பைக் குறிக்கிறது. T_1-க்குத் தற்சுழற்சி அணிக்கோவைத் தளர்வுகாலம் (spin-lattice relaxation time) எனப்பெயர். இத்தளர்வின்போது அமைப்பிற்கும் (system)அணிக்கோவைக் குமிடையே ஆற்றல் மாற்றம் நிகழ்கிறது. சமன்பாடு (2) குறுக்கு இயக்கத்தை (transverse motion) குறிக்கிறது. M எனும் திசையி அதன் ஆரம்ப மதிப்பிலிருந்து M = 0 எனும் இறுதிச் சமநிலை மதிப்பை அடைய ஏறத்தாழ T_2 எனும் காலத்தை எடுத்துக் கொள்கிறது. T_2 என்பது குறுக்கீட்டு இயக்கத்திற்கான தளர்வு ஆகும். இதற்கு தற்சுழற்சி-தற்சுழற்சித் தளர்வுகாலம் (spin-spin relaxation time) எனப் பெயர். பிளாக சமன்பாடுகள் அதிர்வெண்ணிற்கும் காந்த ஏற்புதிறனுக்கும் உள்ள தொடர்பை விளக்குவதில் பெரும்பங்கு வகிக்கின்றன.

113 ***பிளாக் சுவர்கள்*** (Bloch walls)

பெரோ காந்தப் பொருட்களில், அமைந்திருக்கும் பல்வேறு பெருங்கூறுகளின் எல்லைகள் பிளாக் சுவர்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன. பெரோ காந்தப் பொருட்களின் அடுத்தடுத்த பெருங்கூறுகளுக்கிடையே காந்தமாக்கம் மாறுபடுகிறது. இதனால் அவற்றோடு தொடர்புடைய தற்சுழற்சியும் மாறுபடும். ஆனால் அடுத்தடுத்த பெருங்கூறுகளுக்கிடையே ஏற்படும் இந்தச் சுழற்சி மாற்றம் திடீரென்று உடனடியாக மாறுவதில்லை. மாறாக படத்தில் காட்டியபடி படிப்படியாக மாறுகிறது.



மேல் நோக்கிய தற்சுழற்சிப் பெருங்கூறுகள் (Spin up domain) பிளாக் சுவர் (Bloch wall) கீழ்நோக்கிய தற்சுழற்சிப் பெருங்கூறுகள் (Spin down domain)

இரு அடுத்தடுத்த தற்சுழற்சிகளுக்கிடையே நிலவும் ஆற்றல், பரிமாற்று ஆற்றல் (exchange energy) எனப்படும். இப்பரிமாற்று ஆற்றல், தற்சுழற்சிகளின் திடீர் மாற்றத்தினால் அதிகரிக்கவும், தற்சுழற்சிகளின் படிப்படியான மாற்றத்தினால் குறையவும் செய்கிறது. எனவே தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கையை அதிகரித்து, அதன் மூலம் பிளாக் சுவரின் தடிமனை அதிகரிப்பதனால் பரிமாற்று ஆற்றலைச் சிறுமமாக்கலாம். ஆனால் பிளாக் சுவரின் தடிமன் திசையொவ்வாப் பண்பு ஆற்றலுக்கு நேர்த்தகவிலுள்ளது. எனவே சுவரின் தடிமனை அதிகரிப்பதன் மூலம் பரிமாற்று ஆற்றல் குறைந்தாலும் திசையொவ்வாப் பண்பு ஆற்றல் அதிகமாகும். பெருங்கூறுக் கொள்கை (domain theory) சிறும ஆற்றலின் (minimum energy) அடிப்படையில் அமைந்துள்ளதால், பரிமாற்று ஆற்றல், திசையொவ்வாப் பண்பு ஆற்றல் ஆகிய இரண்டையும் சமநிலைப்படுத்தும் வகையில், பிளாக்சுவர் தகுந்த தடிமனைப் பெற்று விளங்கும். எடுத்துக்காட்டாக, இரும்புக்கு பிளாக் சுவரின் தடிமன் 1000 Å ஆகும்.

114 பீசோ மின்னியல் (Piezo electricity)

இது மின் கடத்தாப் படிகம் ஒன்றின்மீது செயற்படும் அழுத்த விசையினால் ஏற்படும் மின்னூட்டமாகும். இவ்வாறு உருவாகும் மின்னூட்ட முனைவாக்கம் (electric polarisation) செயற்படும் தகைவிற்கு (stress) நேர்த்தகவில் உள்ளது. படிகம் தனித்திருப்பின், இந்த மின்னூட்ட முனைவாக்கம், படிகத்திற்கிடையே ஒரு மின்னழுத்தமாகச் செயற்படுகிறது. எனவே, இப்படிகம் மின்னிணைக்கப்படும்பொழுது (short-circuited) மின்னோட்டம் ஏற்படுவதைக் காணலாம். இதற்கு மாறாக, படிகத்தின் முகப்புகளுக்கிடையே செயற்படும் மின்னழுத்தம் படிகப்பொருளில் எந்திரவியல் குலைவுகளை (mechanical distortion) ஏற்படுத்துகிறது. இதை பீசோ மின் விளைவு (Piezo - electric effect) என்று கூறுகிறோம். இவ்வாறு, படிகங்களில், அழுத்த விசையினால் மின்னழுத்தம் ஏற்படுமானால், அது நேரழுத்த மின் விளைவு என்றும், மின்னழுத்தத்தினால் படிகத்தில் திரிபு ஏற்படுமானால் அது எதிரழுத்த மின்விளைவு என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன.

115 புள்ளிக் குழு (Point group,

சமச்சீர்ச் செயற்பாட்டினை அணிக்கோவைப் புள்ளிகளின்மீது செயற்படுத்தும் போது, அணிக்கோவையை மாறாமல் செய்கின்ற சமச்சீர்ச் செயற்பாடே அணிக் கோவையில் ஒரு புள்ளிக்குழு என்று வரையறுக்கப் படுகின்றது. படிக அமைப்பில் வேறு

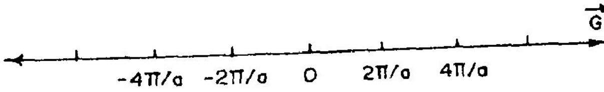
படுத்திக் காட்டக்கூடிய அளவுக்கு 32 புள்ளிக்குழுக்கள் உள்ளன. இவையே 32 படிகவியல் புள்ளிக்குழுக்கள் (crystallographic point groups) என்றழைக்கப்படுகின்றன.

116 பூரியர் பகுப்பாய்வு (Fourier analysis)

மடக்குநிலைப் பண்பைக் (periodic nature) கொண்ட எந்த ஒரு சார்பத்தையும் (function), சைன் மற்றும் கொசைன் உறுப்புகளைக் கொண்டு ஒரு கூட்டுத் தொடராக எழுதலாம். இந்த முறைக்கு பூரியர் தொடர் பகுப்பாய்வு (Fourier series analysis) என்று பெயர். படிகத்தில் எலெக்ட் ரான் அடர்த்தியும் மடக்கு நிலைப் பண்புடையதாக இருப்பதால் பூரியர் தொடர் பகுப்பாய்வு கொண்டு விளிம்பு விளைவு பற்றி அறியலாம். ஒற்றைப் பரிமாண (one dimensional) மடக்குநிலையில் எலெக்ட்ரான் அடர்த்தி n(x)ஐ, கொசைன், சைன் இவற்றின் பூரியர் தொடராக விவரித்தால்,

$$n(x) = n_0 + \sum_{p>0}[C_p \cos((2\pi p)/a)\,x + S_p \sin((2\pi p)/a)\,x\,].$$

இங்கு p-நேர்மதிப் பெண்களைக் கொண் டிருக்கும்; C_p, S_p - மெய்யான பூரியர் விரிவு நிலைக் கெழுக்கள்; $((2\pi)/a)$ என்று சார்பளவைக் கூட்டில் காணப் படுவது n(x)-ன் மடக்குநிலை 'a' என்பதை உறுதி செய்கிறது. $((2\pi p)/a)$ என்பதை எதிரிடை அணிக் கோவையிலோ அல்லது பூரியர் வெளியிலோ ஒரு புள்ளி என்று கொள்ளலாம். எதிரிடை அணிக்கோவைப் புள்ளிகள் பூரியர் தொடரில் அனுமதிக்கப்பட்ட எண்ணுருக் கூறுகளை எடுத்துக் காட்டுகின்றன.



படத்தில் காட்டியபடி ஓர் எண்ணுருக் கூறு, படிகத்தின் எதிரிடை அணிக்கோவை வெளியின் மடக்குநிலைக்கு ஒத்து இருந்தால், பூரியர் தொடரில் இடம் பெறும். இந்தப் புள்ளிகளில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் பிராக் விதிப்படி X-கதிர்களை விளிம்பு விளைவிற்கு உள்ளாக்கும். மேற்கண்ட விரிவைச் சுருக்கமாக $n(x) = \sum_p n_p e^{(i(2\pi p)/a)\,x}$ என்று எழுதலாம்.

இந்தத் தொடர் கூட்டலில் p நேர் மற்றும் எதிர் முழு எண்களையும், சுழியையும் கொண்டிருக்கும்; n_p - என்ற கெழுக்கள் இப்பொழுது பல் கூட்டுக் கலப்பு எண்களாகும். n(x) மெய்யானதாக இருக்க வேண்டுமானல் $n_{-p} = n_p ((2\pi p)/a)\,x = \varphi$ என்று கொண்டால் மேற்கண்ட கூட்டல்

$$n(x) = n_p\,(\cos\varphi + i\sin\varphi) + n_{-p}\,(\cos\varphi - i\sin\varphi)$$

$$\text{ie., } n(x) = (n_p + n_{-p})\cos\varphi + i\,(n_p - n_{-p})\sin\varphi$$

$$= 2\,\mathrm{Re}\,\{n_p\}\cos\varphi + 2\,\mathrm{Im}\,\{n_p\}\sin\varphi$$

என்ற வடிவெடுக்கும். இதில் $\mathrm{Re}\{n_p\}$, $\mathrm{Im}\{n_p\}$ என்பவை முறையே n_p-ன் மெய்யான மற்றும் கற்பனை (real and imaginary) பகுதிகளாகும்.

117 பெர்மி தளம் (Fermi surface)

K-வெளியிடையில் (K - space) பெர்மி ஆற்றலுக்கு நிகரான நிலையான ஆற்றல் கொண்ட ஒரு தளம், பெர்மி தளம் எனப்படும். பெர்மி மட்டங்கள் (levels) மிகையாற்றல் கொண்டவை. அவற்றோடு தொடர்புடைய பெர்மி அலை திசையிகளின் நுனிப்புள்ளி நியமப்பாதைகள் (loci) பெர்மி தளத்தை உருவாக்குகின்றன. தன்னிச்சை எலக்ட்ரான்களின் பெர்மி தளம் கோளக வடிவில் அமையும். மற்றபடி கோளக வடிவிலிருந்து மாறுபட்டு அமையும். 0K வெப்பநிலையில் எலக்ட்ரான்கள் நிரம்பிய சுற்றுப் பாதைகளினின்று அவை நிரம்பாத சுற்றுப் பாதைகளைப் பிரிக்கும் தளம் பெர்மி தளம் எனலாம். ஓர் உலோகத்தை 'பெர்மி தளம் உள்ள திண்மம்" என வரையறுக்கலாம். பெர்மி தளங்களின் நிலைகளை ஆற்றல் பட்டை படங்களின் உதவியாலும், காந்த மின்தடை முறை. சைக்ளோட்ரான் ஒத்திசைவு முறை டீ ஹாஸ்-வான் ஆல்ஃபன் விளைவு போன்ற சோதனைகள் மூலமும் நிர்ணயிக்கலாம். பெர்மி தளம் பற்றிய குறிப்பு, ஒரு பொருளின் மின் சிறப்பியல்புகளையும் இயற்பியல் குணங்களையும் அறியப் பெரிதும் உதவுகிறது.

118 பொதிவு பின்னம் (Packing fraction)

ஓர் அலகு செல் (unit cell) அணுக்களால் எவ்வாறு நிரப்பப்பட்டுள்ளது என்பதைச் சுட்டிக் காட்டும் எண்ணே பொதிவு பின்னம் எனப்படுவது. அணுக்களை அலகு செல்லின் பரிமாணத்திற்கு உட்பட்ட மிகப் பெரிய கோளங்களாக எடுத்துக்கொண்டு அலகு செல்லை நிரப்புவதாகக் கருதி, பொதிவு பின்னத்தைக் கணக்கிடுவர். அலகு செல்லில் உள்ள கோளங்களின் மொத்தப் பருமனுக்கும அலகு செல்லின் பருமனுக்கும் உள்ள தகவே பொதிவு பின்னம் (PF) ஆகும். இதைக் கணக்கிட, முதலில், மிக அருகிலுள்ள இரு அணுக் கோளங்களின் இடை தூரத்தைக் கணக்கிட்டு, அதில் பாதியைக் கோளங்களின் ஆரமாக எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும்.

$$\text{பொதிவு பின்னம் (PF)} = \frac{\text{அலகு செல்லிலுள்ள அணுக்களின் மொத்தப் பருமன்}}{\text{அலகு செல்லின் பருமன்}}$$

$$PF = \frac{4\pi N r^3}{3V}.$$

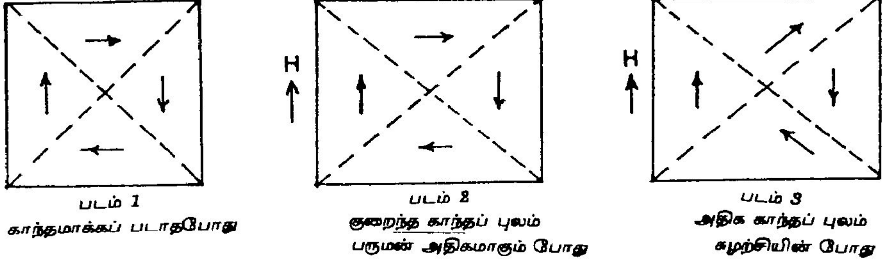
இங்கு, N =அலகு செலலில் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை; V =அலகு செல்லின் பருமன்; r = அணுக்கோளத்தின் ஆரம்.

119 பெரோ காந்த ஒத்ததிர்வு (Ferromagnetic resonance)

ஒரு வெளிபபுறக் காந்தப்புலத்தில் (B_0) ஒரு பெரோ காந்தப் பொருளை (Ferro magnetic material) வைக்கும் பொழுது, அந்த பெரோ காந்தப் பொருளிலுள்ள மின்னிரட்டை (dipole), அந்தக காந்தப் புலத்தை ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணில் ω_0 சுற்றுகிறது. இதனை $\omega_0 = \gamma B_0$ என்ற சமன்பாடு விளக்குகிறது. γ என்பது மின்னிரட்டையின் ஜைரோ காந்த விகிதத்தை (gyro magnetic ratio) குறிக்கிறது. ஒரு சைகை (அதிர்வெண் $\omega = \omega_0$) ஓர் அமைப்பின் வழியாகச செல்லும்போது சைகையிலிருந்து மின்னிரட்டைத் திறனை உட்கிரகிக்கிறது. பெரோ காந்தப் பொருளுககு உட்புலம் அதிகமாக இருக்கும். இந்தப் புலம் நிறைய குறுககு வினைகளைச சார்ந்திருக்கிறது. இச் செயல் 1946-ஆம ஆண்டு கண்டு பிடிககபபட்டது. பெரோ காந்தப் பொருட்களைப் பற்றி அறிவதற்கு பெரோ காந்த ஒத்திசைவு ஒரு தலையாய கருவியாகப் பயன்படுகிறது. இது பல மீயொலி அலை அமைபபுகளுககு அடிபபடையாய் இருககிறது.

120 பெரோ காந்தப் பெருங்கூறுகள் (Ferromagnetic domains)

பொதுவாக, காந்தப் பொருட்களை அதனுடைய காந்த ஏற்புதிறனைப் பொறுத்து மூன்று பிரிவுகளாக – டயா காந்த, பரா காந்த, பெரோ காந்தப் பொருட்கள் எனப் பிரிக்கலாம். பொருட்கள் வெளிகாந்தப் புலமின்றி காந்த ஏற்புதிறன் பெற்றிருந்தால், அப்பொருட்கள் பெரோ காந்தப் பொருட்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன. வெய்ஸ்



படம் 1 காந்தமாக்கப் படாதபோது

படம் 2 குறைந்த காந்தப் புலம் பருமன் அதிகமாகும் போது

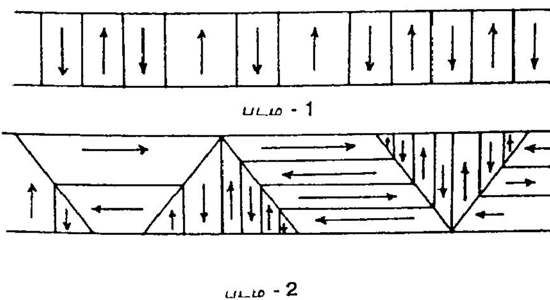
படம் 3 அதிக காந்தப் புலம் சுழற்சியின் போது

(Weiss) என்பவர் பெரோ காந்தப் பண்பை விளக்க பெரோ காந்தப் பெருங்கூறுக் கொள்கை ஒன்றை உருவாக்கினர். இக் கொள்கையின்படி ஒவ்வொரு பெரோ காந்தப் பொருளும் பெருங்கூறுகள் (domain) எனும் சிறு சிறு பகுதிகளைக் கொண்டவையாகக் கருதப்படுகின்றன. இப்பெருங்கூறுகளிலுள்ள காந்தமாக்கத் திசையிகளே (magnetisation vectors) பொருளின் மொத்தக் காந்தப் பண்பை நிர்ணயிக்கின்றன. பொருளின்மீது புற காந்தப்புலம் செயல்படும்போது இத்திசைகள் புற காந்தப்புலத்திற்கிகு இணையாக அமைவதாலேயே அதிக காந்தமாக்கம் ஏற்படுகிறது.

பெரோ காந்தப்பொருளின்மீது புறக் காந்தப்புலம் செயற்படும்போது, அதன் விளைவு காந்தத்திருப்புதிறன் (resultant magnetisation) அதிகமாகிறது. பெக்கர்(Becker) என்பவரின் கூற்றின்படி, குறைந்த வலிமை கொண்ட காந்தப்புலம் செயற்படும்போது பெருங்கூறின் பருமன் அதிகமாவதாலும் (படம் 2) அதிக வலிமை கொண்ட காந்தப்புலம் செயற்படும்போது பெருங்கூறிலுள்ள காந்தமாக்கத் திசைகள் சுழல்வதாலும் (படம் 3) அதிகமாகிறது. பெரோ காந்தப் பொருட்களின் பெருங்கூறுகள் இருப்பதற்கான நேரடி சோதனைச் சான்று காந்தவியற் தூள் வடிவம் (magnetic powder pattern) எனும் தொழில் நுட்பத்தால் பெறப்பட்ட நுண்ணியல் (microscopic) புகைப்படங்களால் நிரூபிக்கப்பட்டது. பொதுவாக ஒரு பெருங்கூறின் பருமன் 10^{-2} லிருந்து 10^{-6} செ.மீ. வரை மாறுபடுகிறது.

121 பெரோ மின்னூட்டப் பெருங்கூறுகள் (Ferroelectric domains)

தன்னிகழ்வு முனை வாக்கம் (spontaneous polarisation) குறைந்தது இரண்டு படிகத் திசைகளிலாவது ஏற்படும். பொதுவாக, ஃபெரோ–மின்படிகங்கள் முனை வாக்கத் திசைகளில் மட்டுமே மாறுபடக் கூடிய ஒருபடித்தான முனைவாக்கத் தொகுதிகளைப் பெற்றுள்ளன (regions of homo geneous polarisation). இத்தொகுதி களை ஃபெரோ மின்னூட்டப் பெருங்கூறுகள் என்று அழைக் கிறோம். இக்கூறுகள் இரு



படம் - 1

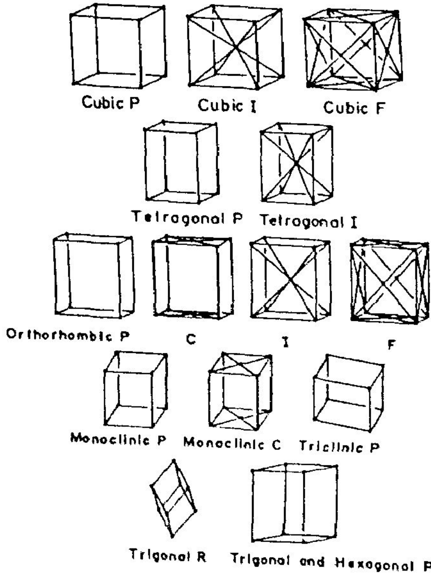
படம் - 2

வகைப்படும். முதல்வகை ஃபெரோ மின்னூட்டப் பொருட்கள் படம்-(1)ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு, இணையான மற்றும் எதிர் இணையான முனைவாக்கம் பெற்ற பெருங்கூறுகளாகும்.

இரண்டாவது வகை, படம்-(2)ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு, சற்று சிக்கலான தொகுதி அமைப்பைப் பெற்றிருக்கின்றன. அடுத்தடுத்த கூறுகளுக்கிடையே உள்ள பகுதிக் குத் தொகுதிச் சுவர் (domain wall) என்று பெயர். இப்பகுதிக்குள் தன்னிகழ்வு முனைவாக்கத்தின் திசை மாறுபடுகிறது. எதிர் இணையான கூறுகளின் சுவர், சில அணிக்கோவை இடைவெளி (lattice spacings) அளவே தடிம னானது. ஆனால், செங்குத்தாக முனைவாக்கம் பெற்றுள்ள தொகுதிகளின் சுவர் மேலும் தடிமனானதாகும். பல பொருட்களில் உள்ள இந்தக் கூறுகளை (இவற்றில் இரட்டை ஒளிவிலகல் ஏற்படுவதால்) முனைவாக்க நுண்ணோக்கியின் (polarising microscope) உதவியினால் காணலாம்.

122 பிரவே அணிக்கோவை (Bravais lattice)

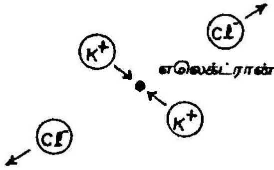
ஒரு படிகத்தின் அணிக்கோவை முழுவதையும் தோற்றுவிக்கவல்ல அதன் மிகச் சிறு பகுதியொன்றினை முப்பரிமாணங்களில் திரும்பத் திரும்ப அடுக்குவதன் வாயிலாக அப்படிகத்தின் அமைப்பைப் பெறலாம். இச்சிறு அடிப்படைத் துணுக்கு அலகு செல் (Unit cell) எனப்படும். அலகு செல்கள், அவற்றின் அமைப்பிற்கு ஏற்றவாறு, வகைப்படுத்தப் பட்டுள்ளன. அலகு செல்லின் மூலைகளில் மட்டிலுமே அணிக்கோவைப் புள்ளிகள் இருந்தால் அவை மூல அலகு செல் (primitive unit cell) எனப்படும். அலகு செல்லின் உருவ மையத்திலும், மூலைகளிலும் அணிக் கோவைப் புள்ளிகள் இருந்தால் அது உருவ மைய அலகு செல் (body-centred unit cell) எனப்படும். மூலைகளிலும் ஆறு பக்கங்களின் மையங்களிலும் அணிக் கோவைப் புள்ளிகள் இருந்தால் அது முகமைய அலகு செல் (face-centred unit cell) எனப்படும். மூலைகளிலும் ஏதேனும் இரண்டு இணை முக மையங்களிலும் அணிக்கோவைப் புள்ளிகள் இருந்தால் அது அடி மைய அலகு செல் (base-centred unit cell) எனப்படும்.

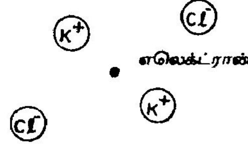


மேற்குறிப்பிட்ட அலகு செல்களால உருவாகும் அணிக் கோவைகள் முறையே மூல அணிக்கோவை (primitive lattice), P, உருவமைய அணிக் கோவை (body centred lattice), I, முகமைய அணிகக்கோவை (face centred lattice), F, அடிமைய அணிகக்கோவை (base centred lattice), A, B, C எனக குறிப்பிடுவது வழக்கம். படிகங்களில் அணிக்கோவைகள் எண்ணற்றவையாக இல்லை. சமச்சீர்மை அடிப்படையில் பார்த்தால் படிகங்களுக்குப் பொருந்தி வரக்கூடிய முப்பரிமாண அணிக்கோவைகள் மொத்தம் பதினான்கே ஆகும். இவையே பிரவே அணிக் கோவைகள் (Bravais lattice) எனப்படும். (படம்)

123 போலரான்கள் (Polarons)

மின்கடத்தாப் பொருள் ஒன்றின் எலக்ட்ரான், அதன் திரிபுப் புலம் (strain field) ஆகிய இரண்டின் கூட்டமைப்பிற்கு போலரான் எனப் பெயர். பொட்டாசியம் குளோரைடில் போலரான்கள் உருவாகும் விதத்தைப் படம் விளக்கு கிறது.





கூலும் விசை யின் தாக்குதலால் பொட்டாசியம் அயனிகள் எலக்ட்ரானை நோக்கி ஈர்க்கப்படுகின்றன; அவ்வமயம் குளோரின் அயனிகள் எலக்ட்ரானிட மிருந்து விலக்கமடை கின்றன (படம்). இதன் காரணமாக எலக்ட்ரானைச் சுற்றித் திரிபுப் புலமொன்று ஏற்படுகிறது. இவ்வெலக்ட்ரான்-திரிபுப்புலம் ஆகியவற்றின் ஒருங்கிணைப்பு போலரான் என அழைக்கப்படுகிறது. எலக்ட்ரான், போலரான் ஆகியவற்றின் பயனுறு நிறை m_1, m_2 எனக் கொண்டால்,

$$m_2 = m_1 \left\{ \frac{1 - 0.0008\alpha^2}{1 - \frac{1}{6}\alpha + 0.0034\alpha^2} \right\}$$ (α = எலெக்ட்ரான்-அயனி இணைப்பு மாறிலி)

எடுத்துக்காட்டாக, பொட்டாசியம் குளோரைடு படிகத்திற்கு $\alpha = 3.97$. எனவே, இச் சமன்பாட்டின்படி அப்படிகத்தின் போலரானின் நிறை (m_2), அதன் எலெக்ட்ரானின் நிறையைப் போல் 2.5 மடங்காகும். சகப்பிணைப்பு (covalent) படிகங்களில் இவ்விளைவு மிகக் குறைவானதால் ($\alpha = 0.014$); இப்படிகங்களில் போலரானின் நிறை ஏறத்தாழ எலக்ட்ரானின் நிறைக்குச் சமம்.

124 போனான் (Phonon)

திண்மப் பொருட்களிலுள்ள வெப்ப ஆற்றல் அணிக் கோவை அதிர்வினாலும், எலக்ட்ரான் அதிர்வினாலும் தோன்றுகிறது. மின்காந்தக் கதிர்வீச்சு ஆற்றல் போன்று, அணிக்கோவை அதிர்வு ஆற்றலும் வரையறுக்கப்படுகிறது. கதிர்வீச்சில் ஒவ்வொரு ஆற்றல் குவாண்டமும் போட்டான் என அழைக்கப்படுவது போன்று அணிக்கோவை அதிர்வில் ஒவ்வொரு குவாண்டம் ஆற்றலும் போனான் என அழைக்கப்படுகிறது. அதிர்வின் மீட்சியல் அலையின் ஆற்றல் $h\nu$ ஆகும். இங்கு h-ப்ளாங் மாறிலி; ν அதிர்வெண். ஒவ்வொரு குவாண்டம் ஆற்றல் $h\nu$-யும் போனான் என அழைக்கப்படுகிறது. போனான் அலையின் அதிர்வெண் 10^4 முதல் 10^{13} ஹெர்ட்ஸ் வரையில் அமைகிறது. குறைந்த அதிர்வெண் பகுதி ஒலியியல் நெடுக்கத்திலும், உயர் அதிர்வெண் பகுதி அகச்சிகப்பு நெடுக்கத்திலும் அமைகிறது. திண்மப் பொருட்களிலுள்ள மீட்சியல் அலைகள் ஒலி அலைகள் என அழைக்கப்படுகின்றன. எனவே போட்டான்கள் வெற்றிடத்தில் ஒளியின் திசைவேகத்தில் செல்வதுபோன்று, போனான்கள் திண்மப் பொருட்களில் ஒலியின் திசைவேகத்தில் செல்கின்றன. திண்மப் பொருட்களில் போனான் ஆற்றல் வெப்ப ஆற்றலாகும். அணிக்கோவை அதிர்வினால் குறைவான போனான்களும் தோன்றுகின்றன.

125 மாட் பெயர்வு (Mott (Metal Insulator) transition)

உலோக நிலையிலிருந்து காப்புப் பொருள் (Insulator) நிலைக்கு ஒரு பருப்பொருள் மாற்றப்படுவதற்கான நிபந்தனை மாட் பெயர்வு எனப்படுகிறது. இந்நிபந்தனையின்படி 0K வெப்பநிலையில் ஹைட்ரஜன் அணுவின் அணிக்கோவைத் தொலைவு $4.5a_0$ -ஐ விட (a_0 = போர் ஆரம்) குறைவாக இருப்பின் அவ்வணு உலோகத்தினுடைய பண்புகளைப் பெற்றிருக்கும்; இத்தொலைவு $4.5a_0$ -ஐ விட அதிகமாக இருப்பின் அப்படிகம் காப்புப்பொருள் நிலையைப் பெறும். தொடக்கத்தில் ஹைட்ரஜன் (0K) உலோக நிலையில் இருப்பதாகக் கொண்டால், அணிக்கோவையில் புரோட்டான்கள் நிலைத்தன்மை பெற்றிருக்கும்; எலக்ட்ரான்கள் கட்டற்ற நிலையில் இயங்கும். இவ்வணிக்கோவை, படிப்படியாக விரிவடைந்து அதன் அணிக்கோவைத் தொலைவு $4.5a_0$ -வை மிகும்போது அப்பொருள் காப்புப்பொருள் நிலையை அடைகிறது. அதாவது, அப்பொருளின் புரோட்டானும், எலக்ட்ரானும் கட்டுண்ட நிலையை அடைகின்றன. இம்மாற்றம் மாட் பெயர்வு எனப்படுகிறது.

126 மிகுமின் கடத்திகள் (Super conductors)

உலோகங்கள், உலோகக் கலவைகள் ஆகியவற்றில் சில வெப்பநிலை 0K அருகிலுள்ள வெப்பநிலைகளுக்குக் குளிர்விக்கப்படும்போது மிகுதியாக மின்கடத்தும் திறனைப் பெறுகின்றன. இது மிகுமின் கடத்தும் நிலை எனப்படுகிறது. தால்லியம், தாமிரம், சயம், தகரம் போன்ற உலோகங்களும் நியோபியம்–அலுமினியம், நியோபியம் – தகரம், வனேடியம்–கால்லியம் போன்ற உலோகக் கலவைகளும் இவ்வித மிகுமின் கடத்திகளாகும். இப்பண்பைப் பெற அப் பருப்பொருளை 0K அருகில் குளிர்விக்க வேண்டும். அதற்கு மிக்க செலவாகும். எனவே அறை வெப்பநிலையிலேயே மிகுமின் கடத்தும் பருப்பொருட்களைத் தயாரிப்பதற்கான ஆய்வுகள் நடைபெற்று வருகின்றன. ஜப்பான், ஜெர்மனி போன்ற நாடுகளில் இம்மிகு மின்னின் தத்துவத்தைக் கொண்டு மிகச் செறிவான காந்தப்புலங்கள் உருவாக்கப்பட்டு இரயில் வண்டித் தொடர்கள் மணிக்கு 600-700 கிலோ மீட்டர் வேகத்தில் இயக்கப்படும் வாய்ப்புகள் ஆராயபபடுகின்றன. மேலும், ஆற்றல் இழப்பின்றி மின்னோட்டத்தை வெகு தொலைவுக்கு எடுத்துச் செல்லவும் மிகுமின் கடத்திகள் பயன்படுகின்றன.

127 மின்கடத்தாமை எண் (Dielectric constant)

மின்கடத்தாப் பொருட்களின் பேரளவுப் பண்புகளில் (macroscopic properties) இன்றியமையாதது அவற்றின் மின்கடத்தாமை எண் ஆகும். இவ்வெண் சில பொருடகளுககு அதிகமாயும், சிலவற்றிற்குக் குறைவாயும், சிலவற்றிற்கு வெப்பநிலையைச் சாாநதும உள்ளது. மின்கடததாப பொருள் ஒன்றை மின்புலத்தில் வைக்கும்போது அபபொருளின் உள்ளே நிலவும் மின்புலத்துக்கும் வெளியே உள்ள மின்புலத்துக்கும் உளள தகவே அபபொருளின் மின் செலுத்துகை திறன் ε எனப்படும்:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_0 E + p}{\varepsilon_0 E}$$

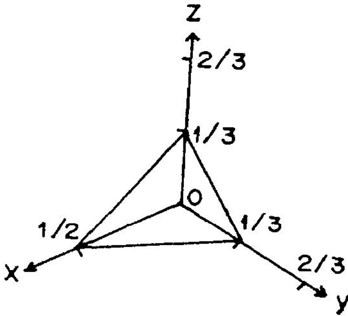
இதில் ε_0 = வெற்றிடத்தின் மின் செலுத்துகை திறன்; E = மின்புல வலிமை; p = முனைவாககம. ε-க்கும் ε_0-க்கும உள்ள தகவு ε_r என்பது அப்பொருளின் மின்கடவா மாறிலி (dielectric constant) ஆகும். திசையொப்புப் பண்பியலான (isotropic) திண்மங்களுக்கு ε ஓர் எணணாகவும், திசையொபபுப் பணபற்ற திண்மங்கட்கு ε ஒரு டென்சார் ஆகவும் அமைகிறது

128 மின் துளைகள் (Holes)

ஒரு திண்மத்தில் உள்ள ஆற்றல் பட்டையிலிருந்து எலக்ட்ரான் விடுபடுவதால் ஏற்படும் காலியிடத்தை மின்துளை எனலாம். மின்புலத்தில் நேர்மின்னூட்டம் போல் செயல்படுவதால் இது நேர்மின்னூட்டத் துளை எனப்படும். தனிம அட்டவணையில் (periodic table) நான்காம் தொகுதியைச் சேர்ந்த ஜெர்மேனியம, சிலிக்கான் போன்ற குறைகடத்திப் படிகங்களில் ஒவ்வோா அணுவின் புறச் சுற்றில் அமைந்த நான்கு இணைதிறன் எலக்ட்ரான்களும் அண்மை அணுக்களால் சகப பிணைப்பு (covalent bond) மூலம் பிணைக்கப்பட்டிருக்கும். 0 K வெப்பநிலையில் வலிமை மிக்க இப்பிணைப்பு அறை வெப்பநிலையில் குலைந்து எலக்ட்ரான் களை விடுவிக்கும். எலக்ட்ரான்கள் வெளியேறிய காலியிடம் நேர்மின் துளை என அழைக்கப் படுகிறது. இத்துளையின் அருகிலுள்ள அணுவின் இணைதிறன் எலக்ட்ரான சகபபிணைப்பை முறித்து வெளியேறி, காலியிடத்தை நிரப்புகிறது. இதனால் மற்றொரு துளை தோன்றுகிறது. மின்துளை, எலெகட்ரான் நகரும திசைகரு எதிர்த் திசையில் நகாவதாகக கொள்ளலாம். இத்துளைகளின் இயக்கம் மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்துகிறது.

129 மில்லர் குறியீடுகள் (Miller indices)

மில்லர் குறியீடுகள் படிகத்தின் தளங்களையும், திசைகளையும் குறிப்பதற்காகப் பயன்படும் எண்களாகும். ஓர் அணிக்கோவையின் இணைதள அடுககுகளின தொகுப்புகளில எநதவொரு அடுக்கை எடுத்துக் கொண்டாலும், அணிககோவைப் புள்ளிகள் ஒவவொன்றும் இவ்வடுககின் ஏதாவது ஒரு தளத்தில் இருக்கும். ஒரு இணைதள அடுககை x, y, z அச்சுக்கள் ஒவ்வொன்றுக்கும் ஒன்றாக, மூன்று முழு எணகளால் குறிப்பர். அணிக்கோவையின் இணைதளங்கள், அலகு செல்லின் அச்சுக்களில் ஒன்றை வெட்டுவதால், அவ்வசசு முழு எண்க ளாலான சம பகுதிகளாகத் துண்டிக்கபபடும் ஏதாவது ஒரு அணிக்கோவைப் புள்ளியைத தொடக்கமாகக் கொள்வோம. O என்று குறிக்கபபட்ட இப்புள்ளிக்கு மிக அருகில் இருக்கும தளம x, y, z அச்சுக்களில் ஏற்படுத்தும் வெட்டுப் பகுதிகளை அலகு செல்லின் விளிம்புகளின் (edges) பின்னங்களாகக குறிககலாம. அபபின்னங்களின் தலைகீழ மதிப்புகளே



அத்தளத்தின் மில்லா குறியீடுகளாகும். எடுத்துக் காட்டாக ஒரு தளம (படம்) x, y, z அச்சுக்களை முறையே (1/2), (1/3), (1/3) என்ற இடங்களில் வெட்டுவதாகக் கொள்வோம. இத்தளத்தின் மில்லர் குறியீடுகள் (2, 3, 3) ஆகும.

130 மீட்சியிலாச் சிதறல் (Inelastic scattering)

எறிபொருள ஒன்று இலக்கு அணுவினமீது விழுமபோது, படுதுகளின் இயக்கத்திசை மாறுகின்ற நிகழ்வினைச சிதறல என்பர். மீடசியல் சிதறலில் இலக்கணுவின் உள்ளாற்றல் மாறுவதில்லை. ஆனால் மீடசியிலாச் சிதறலில, படுகதிரின் இயக்க ஆற்றலில் ஒரு பகுதியை இலக்கு அணுக்கரு உடகவாவதால இசசிதறலில் இயக்க ஆற்றல் மாற்றமடைகிறது. இலக்கு அணுக்கரு எறிதுகளினைக் கவாவதால் கூட்டு அணுக்கரு தோன்றுகிறது. கூட்டு அணுககரு குறைந்த ஆற்றல் கொண்ட எறிபொருள்வகைத் துகளினை உமிழந்து, கிளாசசியூட்டப்பட்ட நிலையிலேயே

அமைகிறது. கிளர்வூட்டப்பட்ட அணுக்கரு அதிகப்படியான ஆற்றலைக் காமா கதிராக வெளிவிடுகிறது. இதனை மீட்சியிலாச் சிதறல் காமா கதிர் என்பர்.

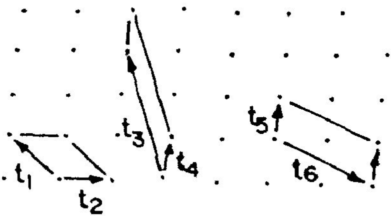
மீட்சியிலாச் சிதறலை அடிப்படையாகக் கொண்டு அணுக்கருவின் அமைப்பினைத் தெளிவாகத் தெரிந்து கொள்ளலாம். சிதறலடைந்த துகளின் இயக்க ஆற்றல் இழப்பிலிருந்து, கீழ்மட்ட அணுக்கருவின் ஆற்றல் மதிப்பினைக் கணக்கிடலாம். மீட்சியிலாச் சிதறலில் விலகலடையும் துகளின் ஆற்றலைப் பல திசைகளிலும் அளவிட்டு அணிக்கோவை அமைப்பினை ஆராயலாம். சிதறல் நியூட்ரான் கற்றையின் கோண அகலத்திலிருந்து, போனானின் ஆயுட்காலத்தை (life time) கணக்கிடலாம். காந்தப் படிகங்களைப் பகுப்பாய்வதற்கு நியூட்ரான் சிதறல் மிக முக்கியமான சோதனையாகப் பயன்படுகிறது.

131 முனைவாக்கப் பேரழிவு (Polarisation catastrophe)

பெர்ரோ மின்பொருட்கள்மீது செயற்படும் மின்புல வலிமை அதிகரிக்கும் பொழுது, அவற்றில் ஏற்படும் மின் முனைவாக்கமும் அதிகரிக்கிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையில் இம் முனைவாக்கம் நேர்தகவு அளவைத் தாண்டி அதிகரிக்க ஆரம்பிக்கிறது. அணிக் கோவையின் மீட்சிவிசையைவிட (elastic restoring force) இஃது மிகும்போது அயனிகள் இடத்தில் ஒரு பெயர்ச்சி உண்டாகிறது. பெருங்கூறுகளுக்கிடையே உள்ள எல்லைகள் (சுவர்கள்) (domain boundaries / walls) பயனற்றுப் போக ஆரம்பிக்கின்றன. பொருளின் மின்னியல் பண்புகளில் சில திடீர் மாற்றங்கள் தோன்றத் தொடங்குகின்றன. இதனையே முனைவாக்கப் பேரழிவு என்கிறோம்.

132 மூலச் செல் (Primitive cell)

நேர்கோட்டில் அமையாத (non-collinear) இரு இடப்பெயர்ப்புகள் ஒரு தள அணிக்கோவையை (plane lattice) வரையறை செய்கின்றன. அதேபோல் நேர்கோட்டில் அமையாத மூன்று இடப்பெயர்ப்புகள் ஒரு வெளி அணிக்கோவையை (space lattice) வரையறை செய்கின்றன. ஒரு குறிப்பிட்ட அணிக் கோவையை எண்ணிப் பார்த்தால், அங்கு ஒவ்வொரு இடப்பெயர்வுக்கும் எண்ணிலடங்காத தேர்ந்தெடுப்புகள் இருக்கின்றன. ஒரு தள அணிக் கோவை மற்றும் சில தேர்ந்தெடுப்புகளைப் படம் காட்டுகின்றது. (t_1 , t_2), (t_3 , t_4), மற்றும் (t_5 , t_6) என்ற இடப்பெயர்ப்புகளின் இணைகளைத் தேர்ந்தெடுத்தால், அவை மூலமுதல் செல்லை வரையறை செய்யும்.



133 மெடுலங் ஆற்றல் (Madelung energy)

ஓர் அயனிப்படிகத்தில், q-மின்னூட்டம் உள்ள இரு அயனிகளுக்கிடையே ஏற்படும் நெடுக்க விசையானது (long range interaction) (q^2/r) என்ற மதிப்பு டைய நிலைமின் விசையாகும். எதிர் எதிர் அயனிகளுக்கிடையில் இவ்விசை ஈர்ப்புத் தன்மை (attraction) உடையதாகவும், ஓரின அயனிகளுக்கிடையே விலகு தன்மை (repulsion) உடையதாகவும் இருக்கும். i, j என்ற இரு அயனிகளுக்கிடையே உள்ள வினையாற்றல் U_{ij} எனில், i - அயனி மீது மற்ற அயனிகளால் உண்டாகும் வினையாற்றல்

ஆகும். படிகத்தின் அயனிகளுக்கிடையேயான மையப்புல எதிர்நோக்கு மின்னழுத்த ஆற்றலும் இதில் அடங்கும். அதை $\lambda e^{(-r/\rho)}$ என்று எழுதலாம். இதில் λ, ρ – ஆகியவை செயலறிவால் அறியப்படுகின்ற அளவுகள் (emperical parameters). எனவே,

$$U_i = \lambda e^{(-r_{ij}/\rho)} \pm (q^2/r_{ij})$$

இதில் + குறி ஓரின மின்னூட்டத்தையும், – குறி எதிர்எதிர் மின்னூட்டத்தையும் குறிக்கும். ஒரு படிகத்தில் N மூலக்கூறுகள், அதாவது 2N அயனிகள், இருக்குமானால் மொத்த ஆற்றல் $U_{tot} = NU_i$; இரு அயனிகளுக்கிடையேயான தூரம் r_{ij}–ஐ அருகருகில் (nearest neighbour) உள்ள அயனிகளுக்கிடையே உள்ள தூரம் R-மூலமாக எழுதினால், (கணக்கீடு வசதிக்காக) $r_{ij} = p_{ij} R$ [p_{ij}- கணக்கிடப்படாத ஓர் அளபுரு (undetermined parameter)]. இதன்படி,

$$U_i = \lambda e^{(-R/\rho)} - (q^2/R) \text{ (அருகருகில் உள்ள அயனிகளுக்கு)}$$
$$= \pm (1/p_{ij})(q^2/R); \text{ (மற்ற அயனிகளுக்கு)}$$

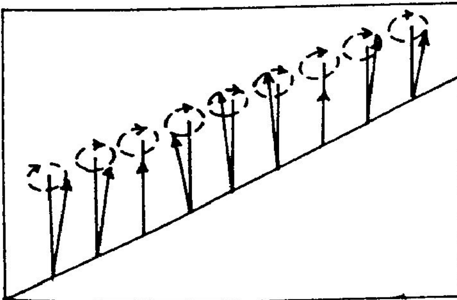
மற்ற அயனிகளுக்கு எதிர்க்கும் மின்னழுத்தம் மொத்தத்தில் நூறில் ஒன்றிரண்டு பங்கே என்பதாலும், R அதிகமாகும்பொழுது இது மேலும் குறைந்துவிடும் என்பதாலும், இதைக் கணக்கீடுகளிலிருந்து நீக்கி விடலாம்.

$$U_{tot} = NU_i = N(Z\lambda e^{-R/\rho} - \alpha q^2/R),$$

Z- ஒரு அயனிக்கு அருகிலுள்ள மற்ற அயனிகளின் எண்ணிக்கை. $\alpha = \Sigma(\pm 1/p_{ij})$ மெடுலாங் மாறிலி. சம நிலையில் $((dU_{tot})/(dR) = 0$, எனவே $U_{tot} = -((N\alpha q^2)/R_0)(1-(\rho/R_0))$. இதில் $-((N\alpha q^2)/R_0)$ என்பது மெடுலாங் ஆற்றல் எனப்படும்.

134 மேக்னான்கள் (Magnons)

ஒரு ஃபெரோ காந்தப்பொருளில், முழுக்காந்த ஒழுங்கு (complete magnetic order) என்பது, அப்பொருளில் ஏற்படும் அணுக்காந்தத் திருப்புதிறன்கள் அனைத்தும் இணையாக ஒருங்கமைந்துள்ளன என்பதாகும். இவையனைத்தும் ஓர் அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் மொத்தக் கோண (சிறப்பாக தற்சுழற்சி) உந்தங்களிலிருந்து பெறப்படுபவையாகும். ஒரு மேக்னான் என்பது, அமைப்பின் மொத்தத் தற்சுழற்சி உந்தம், ஒரு(h) (பிளாங்க் மாறிலியை 2π ஆல் வகுக்கும்) அளவு குறைவதைக் குறிக்கின்றதாகும். இதையே, தற்சுழற்சி அலை (spinwave) என்றும் குறிப்பிடு கின்றோம். அலையைப் போலவே, இஃது வீச்சில் வளர்ந்து ஊடகம் முழுவதும் பரவுகிறது. எனவே மேக்னான் என்பது வரையறுக்கப்பட்ட, ஒரு சீரணி அதிர்வு அலையிலுள்ள ஒலியனை (phonon) போன்ற, வரையறுக்கப்பட்ட தற்சுழற்சி அலையுடன் இணைந்த காந்தனை என்றும் கூறலாம். ஒரு ஃபெரோ காந்தத்தில் உள்ள தற்சுழற்சி அலையின் அமைப்பு படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது.



இதில், நேர்கோட்டு வரிசையில் உள்ள அணு தற்சுழற்சிகள் (atomic spins) திசையிகளாகக் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. ஒரு மேக்னான் அல்லது தற்சுழற்சி அலையின்

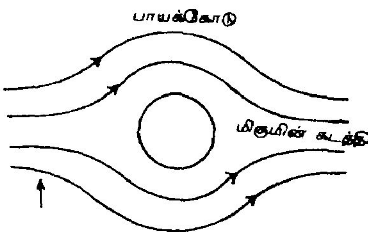
ஆற்றல் $\hbar\omega$ ஆகும். இது அலை நீளம் λ குறையும் பொழுது அல்லது அலை எண் k அதிகரிக்கும்பொழுது, அதிகரிக்கின்றது.

ஒரு ஃபெரோ காந்தத்தில், ஒவ்வொரு மேக்னானுடைய ஆற்றலும் (k சிறியதாயின்) ஏறக்குறைய k^2–க்கு நேர்தகவில் உள்ளது. ஒரு எதிர் ஃபெரோ காந்தத்தில், அடுத்தடுத்த அணு தற்சுழற்சிகள் எதிரிணையாக (↓↑) அமைந்து சுழிக் காந்தமாக்கலை (zero magnetisation) ஏற்படுத்துவதால், மேக்னானின் ஆற்றல் (k சிறியதாயின்) k–க்கு நேர்தகவில் மாற்றமடைகிறது. இது ஒலியியல் ஒலியன்களுக்கு ஒப்பானதாகும். ஒரு பெரிகாந்தத்தில், அணு தற்சுழற்சிகள் எதிரிணையாக இருந்தாலும், அளவில் மாறுபட்டிருப்பதால், சுழிக் காந்தமாக்கலைப் பெற்றிருக்க வில்லை. எனவே, மேக்னானின் ஆற்றலும், ஃபெரோ காந்தப் பொருளைப் போலவே (k சிறியதாயின்) k^2க்கு நேர்த்தகவில் மாறுகிறது.

135 மேசர் (Maser - Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

தூண்டப்பெற்ற கதிர்வீச்சு வெளியீட்டால் மீஒளி அலைகளை (Microwaves) பெருக்குதல் என்பதன் சுருக்கமே மேசர் (Maser) எனப்படும். மேசர், லேசர் இரண்டும் ஒரே அடிப்படைத் தத்துவத்தில் செயல்படுகின்றன. லேசரிலிருந்து வெளிப்படும் ஒளிக்கற்றையினுடைய அலைநீளத்தைக் கொண்டதாகவும், மேசரிலிருந்து வெளிப்படும் ஒளிக்கற்றை மீ ஒளியினுடைய அலைநீளத்தைக் கொண்டதாகவு ம் உள்ளன. 1954–ஆம் ஆண்டு C.H. Townes என்பவர் இதனைக் கண்டுபிடித்தார். வெட்ட வெளியிலிருந்து (space) வருகின்ற மிகவும் வலுக்குறைந்த சைகைகளைப்பெருககுவதற்கு மேசர் பெருக்கிகள் பயன்படுகின்றன. துணைக்கோள்கள் வழி செய்தித் தொடர்பு, ரேடியோ வானியல், ரேடார், வானியல்,மீஒளி லை நிறமாலையியல் போன்ற துறைகளில் மேசர் பெருக்கிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

136 மேசுனர் விளைவு (Meissner effect)



மிகுமின் கடத்திகள் டயா காந்தத் தன்மை பெற்றவையாகும். அவற்றின் உட்புகுதிறன் (susceptibility) சுழியை விடக் குறைவானதாகும். எனவே இக்கடத்தியை காந்தப் பாயமொன்றில் அமைத்தால், பாயக் கோடுகள் அக்கடத்தியின் மேற்பரப்பிற்கு வெளியே தள்ளப்பட்டுவிடும்(படம்). இவ்விளைவு மேசுனர் விளைவு எனப்படுகிறது. ஈயம், தகரம், பாதரசம் போன்றவை 0K-க்கு அருகிலுள்ள வெப்பநிலையில் மிகுமின் கடத்திகளாகச் செயற்படுகின்றன. இந்நிலையில் அவற்றின்மீது தாககுமாறு 0.1 டெஸ்லாவிற்கும் குறைவான செறிவுள்ள காந்தபபாயம் ஒன்றை அமைத்தால் அப்பாயக்கோடுகள் அப்பொருட்களின் வெளி நோக்கித் தள்ளப்படும. ஆனால் காந்தப்புலத்தின் செறிவு 0.1 டெஸ்லாவை மிகுமானால் பாயக் கோடுகள் அப்பொருட்களை ஊடுருவிச் செல்லும்; அப்பொருட்கள் மிகுமின் கடத்தும் தன்மையை இழந்து விடுகினறன. இவ்வுலோகங்கள் முதலவகை மிகுமின் கட த்திகள் எனபபடுகின்றன. மாறாக, சில உலோகக் கலவைகள் (Nb - Zn; Nb - Ti; Va - Ga) மிகுதியான (10 டெஸ்லா) செறிவுள்ள காநதப் பாயங்களிலும் மிகுமின் கடத்தும தனமையை இழப்பதில்லை; இவை இரணடாமவகை மிகுமின் கடததிகள் எனப்படுகினறன

137 லண்டன் சமன்பாடுகள் (London equations)

இவை மிகுமின் கடத்தி வழியே செல்லும் மின்னோட்டத்தின் பண்புகள் பற்றிய சமன்பாடுகளாகும். இயல்பான மின்கடத்திகள் ஓம் விதிக்குட்பட்டு மின்னோட்டத்தைக் கடத்துகின்றன. அதாவது i = V / R. (i = மின் ஓட்டம்; V = மின்னழுத்தம்; R = கடத்தியின் மின் தடை). இக்கடத்திகளில் மின்னோட்டம் செல்லும்போது ஆற்றல் இழப்பு (wastage of energy) i^2R ஏற்படுகிறது. ஆனால் மிகுமின் கடத்திகளில் ஆற்றல் இழப்பு ஏற்படுவதில்லை. ஏனெனில், இக்கடத்திகளில்

$$\vec{J}_s = \frac{n_s e^2}{m} \vec{E}.$$

இது லண்டன் முதல் சமன்பாடு எனப்படுகிறது. இச்சமன்பாட்டின்படி மிகு மின்னோட்டம் ($\vec{J}_s$) மின்தடையை (R) பொறுத்ததல்ல எனத்தெரிகிறது. எனவே இம்மின்னோட்டத்தினால் ஆற்றல் இழப்பு இருக்காது. லண்டன் இரண்டாம் சமன்பாடு,

$$\vec{\nabla} \times \vec{J}_s = -\frac{n_s e^2}{mc} \vec{H}.$$

இச்சமன்பாடு மீக்கடத்தியின் மின்னோட்டத்திற்கும் அக்கடத்தியின்மீது தாக்கும் காந்தப் புலத்தின் செறிவிற்கும் ($\vec{H}$)+rX தொடர்பினை விளக்குகிறது. இச்சமன் பாட்டின்படி காந்தப்புலம்,அப்பருப்பொருளின் மேற்பரப்பிலிருந்து 200×10^{-10} மீட்டர் ஆழம்கூட ஊடுருவ இயலாது என்பது தெளிவாகும். எனவே காந்தப்புலம் மிகுகடத்தியின் வெளிப்புறம் மட்டுமே அமையுமேயன்றி உட்புறம் இராது. இதனை மேசுனர் விளைவு என்பர்.

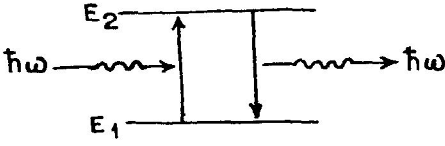
138 லாரன்ஸ் புலம் (Lorenz field)

மின்கடத்தாப் (dielectric) பொருள் ஒன்று மின்புலத்தில் வைக்கப்படும்போது முனைவாக்கம் (polarisation) அடைகிறது என்பது நாமறிந்ததே. மின்கடத்தாப் பொருளின் ஒவ்வொரு அணுவும் மூன்று விதமான மின்புலன்களுக்கு உட்படுத்தப்படுகின்றன. வெளியிலிருந்து நாம் செலுத்தும் மின்புலம் E_0 என்பது ஒன்று. இது தவிர எதிர்மின் முனைவாக்கத்தால் (depolarisation) ஏற்படக்கூடிய மின்புலம் E_1 என்பது மற்றொன்று. எனவே ஒவ்வொரு அணுவும் உட்படுத்தப்படும் பேரளவுப் புலம் (macroscopic field) E என்பது $E_0 + E_1$ க்குச் சமமாகிறது. இது தவிர, சுற்றியுள்ள அணுக்களினால் எடுத்துக் கொண்ட அணுவில் உண்டாகும் மின்புலம் E_2–வையும் நாம கவனத்தில் வைக்க வேண்டும். எனவே ஒவ்வொரு அணுவின் மேல் உள்ள மொத்த உட்புலம் (local field) E_{local} என்பது $E_0 + E_1 + E_2$ க்குச் சமம். E_2 என்ற மின்புலம், அதுகுறித்து ஆய்வுகள் நடத்தியவரின் பெயரால் லாரன்ஸ் புலம் (Lorenz field) என்று அழைக்கப்படுகிறது. முனைவாக்கத்துக்கும் (ρ) லாரன்ஸ் புலம் E_2–வுக்கும் இடையே பின்வரும் தொடர்பு காணப்படுகிறது.

$$E_2 = \frac{1}{3\varepsilon_0} \rho$$ (ε_0 என்பது வெற்றிடத்தின் அனுமதிக்கும் திறன் ஆகும்).

139 லேசர் (Laser - Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

தூண்டப் பெற்ற கதிர் வீச்சு வெளியீட்டால் ஒளியைப் பெருக்குதல் என்பதன் சுருக்கமே லேசர் எனப்படும். மைமான் என்பவர் 1960–ஆம் ஆண்டில் லேசரைக் கண்டுபிடித்தார். லேசர் பொருளின் கீழ் ஆற்றல் மட்டத்திலுள்ள (E_1) அணுக்கள்,



அயனிகள், அல்லது மூலக்கூறுகள் மீது ஏற்ற அதிர்வெண்ணை (pumping frequency) செலுத்தும் போது அவை உயர் ஆற்றல் மட்டத்திற்கு (E_2) செல்லுகின்றன. இவ்விரு ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையே தொகைத் தலைகீழாக்கம் (population inversion) ஏற்படுகிறது. ஏற்ற அதிர்வெண்ணுடைய போட்டான்கள் (photons) உயர் மட்டத்திலுள்ள மற்ற அணுக்களை போட்டான்களை வெளியிடத் தூண்டும். லேசர் உபகரணத்தின் முனைகளிலுள்ள எதிரொளிப்பானுக்குச் செங்கோணத்தில் செல்லும் ஒளி அலைகளே இரு எதிரொளிப்பான்களிலும் மீண்டும் மீண்டும் பட்டு எதிரொளித்துப் பல்லாயிரக் கணக்கான முறை முன்னும் பின்னும் செல்லும். இதனால் உயர் மட்டத்திலுள்ள அணுக்கள் யாவுமே தூண்டப் பெற்ற வெளியீட்டின் மூலம் ஒளியை உமிழ்கின்றன. இரு எதிரொளிப்பான்களுக்கிடையே ஒரு 'நிலை அலை ஒளி' (standing wave pattern beam) உருவாகும். ஒரு ஒளிப்பான் வழியாக ஒரு திருத்தமான இணைகற்றை (parallel beam) வெளிவரும். லேசர் ஒளி அலைகள் திசைப் பண்பு (directionality), செறிவு (intense), ஒரியல் பண்பு (coherent) கொண்டவை. செய்தித் தொடர்பு, ஒளிப்படவியல், மருத்துவம், தொழில், வானியல், வானிலை இயல், இயற்பியல் மற்றும் வேதியல் துறைகளில் லேசர்கள் பயன்படுகின்றன.

140 வரி அகலம் (Line width)

மின்காந்த அலைகளுக்கும் பருப்பொருளுக்கும் இடையில் ஏற்படும் இடைவினைகள் பற்றி ஆய்வதே மூலக்கூறு நிறமாலையியலின் (molecular spectroscopy) நோக்கமாகும். நிறமாலைகளிலிருக்கும் வரிகளைக் கொண்டு பருப்பொருட்களின் மூலக்கூறு அமைப்பு, வேதியல் பண்புகள் ஆகியவற்றை அறியலாம். இத்தகைய நிறமாலை வரிகள் சோதனைகளின் மூலம் பெறப்படும்போது கூர்மையாக (sharp) அமையுமானால் சோதனை மூலம் கிடைக்கும் மதிப்புகள் துல்லியமாக அமையும். நிறமாலை வரிகள் கூர்மையாகவோ அல்லது அகலமாகவோ (broad) அமையக் கீழ்க்கண்ட காரணிகள் அடிப்படையாக விளங்குகின்றன: 1) அணுக்கருவின் தற்சுழற்சி–தற்சுழற்சி இடைவினை (nuclear spin-spin interaction): கருக்களுக்குத் தற்சுழற்சிப் பண்பு இருப்பதால், அடுத்தடுத்த கருக்களிடையே இருக்கும் இருமுனை திருப்புதிறன்கள் (nuclear dipole moments) ஒன்றோடொன்று வினைபுரிந்து ஆக்க அல்லது அழித்தல் விளைவுகளை ஏற்படுத்து கின்றன; இதனால் புறக் காந்தபுலம் செலுத்தப்படும்போது அனைத்து கருக்களுக்கும் சீராகச் செலுத்த இயலுவதில்லை; எனவே ஒத்ததிர்வு எண் (resonance frequency) கூர்மையாக இருப்பதில்லை; 2) தற்சுழற்சி–அணிக்கோவை தளர்வு காலம் (spin - lattice relaxation time): ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றல் நிலையில் ஒரு கரு இருக்கும் ஆயுட்காலம் மிகவும் குறைவாகும்; கரு, அதனைச் சுற்றியுள்ள பிற அணிக்கோவைக் கருக்களோடு தொடர்ந்து வினைபுரிவதால அதன ஆற்றல்நிலை தொடர்ந்து மாறிக் கொண்டேயிருக்கும்; ஆற்றல் இவ்வாறு தொடர்ந்து கருக்களிடையே பங்கிடப்படுவதால் ஆற்றல் நிலைகள் கூர்மையாக அமைவதில்லை; எனவே உட்கவர் வரிகளிலும் (absorption line) சிறிது அகலம் அதிகரிக்கிறது; 3) கரு மின்னியல் நான்முனை விளைவு (nuclear electric quadrupole effect): ஒரு கருவினுள்ளிருக்கும் மின்னூட்டங்கள் கோளகவடிவில் அமையாததால் (non-spherical arrangement of charges) கரு மின்னியல் நான்முனைத் திருப்புதிறன் உருவாகிறது; இதன் மின்புலம் வரி அகலத்தை அதிகமாக்குகிறது.

141 வழங்கு நிலைகள் (Donor states)

குறைகடத்திகளுடன் சில குறிப்பிட்ட வேற்றுப் பொருள் அணுக்கள் குறைந்த செறிவில் சேர்ந்திருக்கும்பொழுது, எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் நிலைகளே இருப்பதற்கு சாத்தியமில்லாத தடுக்கப்பட்ட ஆற்றல் பட்டையினுள் கடத்துகைப்பட்டையின்

கீழ்முனைக்கு அருகே உண்டாக்கப்படும் எலக்ட்ரான் ஆற்றல் நிலைகளே வழங்கு நிலைகள் (donor states) என அழைக்கப்படுகின்றன. காட்டாக, பாஸ்பரஸ் போன்ற ஐந்தாம் குழுமத்தைச் சேர்ந்த அணுக்கள் சிலிகான் அல்லது ஜெர்மானியம் போன்ற தனிமக் குறைகடத்திகளில் வேற்றுப் பொருளாக நுழையும்போது இந்நிலைகள் தோன்றுகின்றன. வழங்கு நிலைகள் உருவாகக் காரணமான வேற்றுப் பொருள் அணுக்கள் வழங்கு அணுக்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன. இவ்வழங்கு நிலைகள் மில்லி எலக்ட்ரான் வோல்ட் அளவிலான மிகக் குறைந்த பிணைப்பாற்றல் உடையனவாக அமைந்திருக்கின்றன. ஆகவே இயல்பான வெப்பநிலையில் எலக்ட்ரான்கள் வழங்கு நிலைகளிலிருந்து கடத்துகைப் பட்டைக்குள் தாவுகின்றன. இதன் காரணமாகக் குறைகடத்திகள் மின்னைக் கடத்தத் தொடங்குகின்றன. இது புறத்திரி நிலைக் கடத்துகை (extrinsic conductivity) எனப்படுகிறது. குறைகடத்திகளின் இப்பண்பே தற்கால எலக்ட்ரானியலில் வெகுவாகப் பயன்படுத்தப்பட்டு வருகிறது. இத்தகைய வழங்கு நிலைகளுக்குக் காரணமான வேற்றுப் பொருள் அணுக்களைக் கொண்ட குறைகடத்திகள் n வகை என அழைக்கப்படுகின்றன. இதில் பெருவாரியான மின்னூட்ட ஊர்திகள் எதிர்மின்னூட்டம் கொண்ட எலக்ட்ரான்களே ஆகும். வழங்கு நிலைகளின் பிணைப்பாற்றல் அளவைச் சார்ந்து அவை மேலோட்ட / ஆழ (shallow / deep) வழங்கு நிலைகள் எனப் பகுக்கப்படுகின்றன.

142 **வான் டெர் வால்ஸ் விசை** (van der Waals force)

வான் டெர் வால்ஸ் விசை பெரும்பாலும் தூண்டுதல் மின் இருமுனைகளாலேயே தோன்றுகிறது. இது எலக்ட்ரான்களின் இயக்கத்தால் உண்டாகிறது. அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் இயல்பாக ஒரே சீராக அணுக்கருவைச் சுற்றிப் பரந்திருக்குமெனக் கொள்ளலாம். அவ்வியக்கத்தின் காரணமாக, சில நேரங்களில் ஒரு பக்கத்தில் எலக்ட்ரான் அடர்த்தி மிகுந்து காணப்படலாம். இதன் காரணமாக நேர்மின்னூட்ட மையத்தோடு எதிர்மின்னூட்ட மையம் ஒன்றாது போய் விடும். இதனால் ஓர் மின் இரு முனைவு உண்டாகும். இவை மற்ற அணுக்களில் மின் இரு முனைவுகளைத் தூண்டும். இதன் காரணமாக அணுக்களிடையே ஈர்ப்பு விசைகள் செயல்படும். இவை வலுக்குறைந்த விசைகளாகும். இவை மூலக்கூறு விசைகள் எனவும் அழைக்கப்படும்.

143 **விஸ்கர்ஸ்** (Whiskers)

மிகச் சன்னமான மயிரிழை போன்ற படிகங்கள் விஸ்கர்ஸ் எனப்படும். இவை ஒரு இடமாற்றத்திற்கு மேற்படாத சூழலில் ஏற்படும் மிக நிரம்புகை (super saturation) தன்மையின் கீழ் வளர்கிறது. இவ்வகைப் படிகங்கள் எளிய அச்சு மற்றும் திருகு இடமாற்றம் கொண்டுள்ளது. இவை ஒற்றைப்பரிமாண வளர்ச்சிக்கு (onedimension growth) உதவுகின்றன. ஹெரி மற்றும் கால்ட் என்போர் 10^{-4} cm ஆரமுள்ள தகர விஸ்கர்ஸை ஆராய்ந்த போது, இவைகளின் மீள் பண்புகள் முழுமையான படிகங்களின் மீள் பண்புகளுடன் ஒத்துச் செல்வதைக் கண்டறிந்தனர்.

144 **வெப்ப ஏற்புத்திறனுக்கான ஐன்ஸ்டீனின் மாதிரி** (Einstein's model of heat capacity)

வெப்ப ஏற்புத்திறனுக்கான பழங்கொள்கை மாதிரியின் குறைபாட்டினை நீக்குவதற்காக 1906–ல் ஐன்ஸ்டீன் குவாண்டம் கொள்கையைப் பயன்படுத்தினார். இம்மாதிரியின்படி அணு அலையியற்றியின் ஆற்றல் நிறமாலை தொடர்ச்சியாக இல்லை எனக் கொள்ளப்பட்டது. ஒவ்வொரு தனி அணுக்கரு அலையியற்றியின் ஆற்றல்கள் hν, 2hν, ...,nhν என வரையறுக்கப்படுகிறது. இதனைப் பயன்படுத்தி உள்ளாற்றல் கணக்கிடப்பட்டு, வெப்ப ஏற்புத்திறனுக்கான கோவை வருவிக்கப்பட்டது. குறைந்த வெப்பநிலைக்கான கோவை:

$$C_V = 3R\left(\frac{\theta_E}{T}\right)\exp\left\{\frac{-\theta_E}{T}\right\}.$$

ஐன்ஸ்டீன் வெப்பநிலை θ_E-ஐ, $h\nu = k\,\theta_E$ எனும் தொடர்பினால் வரையறுக்கலாம். குறைந்த வெப்பநிலையில், சராசரி வெப்ப ஆற்றல், குவாண்டம் ஆற்றல் $h\nu$-யை விடக் குறைவாக இருப்பதால் பழமை அலையியற்றியின் வெப்ப ஏற்புத்திறனை விடக் குறைவாக இருக்கும். உயர்வெப்ப நிலையில் $T > \theta_E$ ஐன்ஸ்டீன் சார்பு ஓரலகாக அமைவதால், உயர் வெப்பநிலையில் டியூலாங்-பெட்டிட் விதி சரியாக அமைகிறது. மிகக் குறைந்த வெப்பநிலையில் ஐன்ஸ்டீன் சார்பு சுழியாகிறது.

ஐன்ஸ்டீன் மாதிரியால் ஒரு குறிப்பிட்ட தாழ் வெப்பநிலை வரையிலான வெப்ப ஏற்புத்திறனுக்கு மட்டுமே விளக்கம் தரமுடிகிறது. 14K-ல் வெள்ளிக்கு ஐன்ஸ்டீன் மாதிரியின்படி கணக்கிட்ட வெப்ப ஏற்புத்திறன் மதிப்பு, சோதனை மதிப்பினைவிட 28 மடங்கு குறைவாகும். மேலும் ν, θ_E ஆகியவற்றிற்குப் பரிசோதனை முடிவுகள் கிடையாது.

145 வெப்ப ஏற்புத்திறனுக்கான டீபை மாதிரி (Debye model of heat capacity)

அணு அலையியற்றி ஒவ்வொன்றும் தனித்து அலைவுறுகிறது எனும் ஐன்ஸ்டீன் கூற்று தவறானது என 1912-ல் டீபை கூறினார். எல்லா அணுக்களும் மீட்சியல் பிணைப்புக் கொண்டுள்ளன. எனவே இவை பிணைப்பு அலையியற்றியாக இருக்கவேண்டும். அதிர்வெண் பகிர்வு தெரிந்தால், மொத்த ஆற்றலைக் கணக்கிட்டு வெப்ப ஏற்புத்திறனைப் பெறலாம்.

ν, $\nu + d\nu$ அதிர்வெண் நெடுக்கத்திலுள்ள அதிர்வுகளின் எண்ணிக்கை $g(\nu)\,d\nu$-ஆல் தரப்படுகிறது. இங்கு $g(\nu)$-அடர்த்தி நிலைச் சார்பம் (density state function). $g(\nu)\,d\nu$-வை ஒரு குறிப்பிட்ட வரம்புகட்கிடையே தொகையாக்கம் செய்து, மொத்த அதிர்வுகளின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடலாம். அதிர்வெண் நிறமாலையில் உள்ள அடர்த்தி நிலை, அதிர்வெண் அதிகமாகும்போது விரைவாக அதிகரிப்பதால், கீழ் வரமபினை $\nu = 0$ எனக் கொள்ளலாம்.

N-அணுக்கள் கொண்ட படிகத்தில் ஒவ்வொரு அணுவும் 3-உரிமைப் படிகள் (degrees of freedom) கொண்டுள்ளமையால், மொத்த அதிர்வுகளின் எண்ணிக்கை 3N-ஐ விட அதிகமாக இருக்கமுடியாது. எனவே உயர்வரம்பு ν_m-ஐ

$$\int_0^{\nu_m} g(\nu)\,d\nu = 3N$$

எனும் தொடர்பினால் வரையறுக்கலாம். $\nu_m^{\,*}$ ஐ டீபை வெட்டுநிலை அதிர்வெண் என அழைப்பர். எனவே உள்ளாற்றல் கணக்கிட்டு, வெப்ப ஏற்புத்திறன் கணக்கிட $g(\nu)$, ν_m ஆகியவற்றைக் கணக்கிடவேண்டும். வெட்டுநிலை அதிர்வெண்ணை பல மாறுபட்ட முறைகளில கணக்கிடலாம்.

டீபை வெபபநிலை θ_D, $\theta_D k = h\nu$ எனும் தொடர்பினால் வரையறுக்கப்படுகிறது.உயர் வெப்பநிலையில் $T >> \theta_D$, $C_V = 3Nk$ இது பழங்கொள்கை முடிவாகும்.

மிகக குறைந்த வெப்பநிலையில் $T << \theta_D$,

$$C_v = \frac{12}{5}\pi^4 Nk\left(\frac{T}{\theta_D}\right)^3.$$

எனவே மிகக் குறைந்த வெப்பநிலையில் வெப்ப ஏற்புத்திறன் T^3-ற்கு நேர்தகவில் அமையு ம். இதனை டீபையின் T^3-விதி என்பர். அடிப்படையில்

கணக்கிடப்பட்ட வெப்ப ஏற்புத்திறன் மதிப்பு சோதனை மதிப்புடன் ஒத்திருந்தது. எனினும் மிகமிகக் குறைந்த வெப்பநிலையில் மை மாதிரி சரியான விளக்கம் தரமுடியவில்லை.

146 வெப்பமின் விளைவு (Thermoelectric effect)

ஒரு மின்சுற்றில் உள்ள இருவேறு உலோகப் பகுதிகளின் சந்திகள் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் இருப்பதால் ஏற்படும் விளைவு வெப்பமின் விளைவு எனப்படும். ஆன்டிமணி, பிஸ்மத் போன்ற இரண்டு உலோகங்களின் சந்திகள் (junctions) வெவ்வேறு வெப்பநிலைக்கு உட்படுத்தப்பட்டால் அச்சுற்றில் மின்னியக்கு விசையும் (emf) மின்னோட்டமும் ஏற்படும். 1821–ஆம் ஆண்டு சீபெக் என்பவரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட இவ்விளைவு 'சீபெக் விளைவு' (Seebeck effect) எனப்படுகிறது. இவ்விளைவின் மறுதலையை 1834–ஆம் ஆண்டு Peltier என்பவர் கண்டார். வெப்ப மின்னிரட்டையின் (thermo couple) வழியே மின்னோட்டம் பாயும்போது ஒரு சந்தியில் வெப்பக் கவர்தலும் மற்றொரு சந்தியில் வெப்ப வெளியேற்றமும் நிகழ்கிறது. இது பெல்டியர் விளைவு எனப்படும். உலோகச் சந்தியில் ஓரலகு மின்னோட்டம் ஒரு நொடி பாய்வதால் வெளிப்படுகின்ற அலலது கவரப்படுகின்ற வெபபம் 'பெல்டியர் கெழு' (Peltier coefficient) என வரையறுக்கப்படுகிறது. இக்கெழு குறைகடத்திகளில் ஏறபடும் வெப்ப மின்விளைவை அறியப் பயன்படுகிறது. ஒரே உலோகத்தின் பகுதிகள் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் இருக்கும்போதும் அதன்வழியே மின்னோட்டம பாயும்போது வெப்பம வெளிப்படலாம் அல்லது கவரப்படலாம். இந்நிகழ்வு தாம்சன் விளைவு (Thomson effect) எனப்படும். உலோகங்களுக்கான எலக்ட்ரான் பற்றிய கொள்கை மூலம் இவ்விளைவுகளை விளக்கலாம்.

147 வெளிக் குழு (Space group)

வெளி அணிக்கோவைகளுடனான சமச்சீர் ஆக்கக் கூறுகளின் இணைப்பை வெளிக் குழுக்கள் குறிக்கின்றன. இந்த இணைப்பைக் கருத்தில் கொள்ளும்போது, வெளி அணுக்கோவையில் காணப் பெறுகின்ற அந்த சமச்சீர் ஆக்கக் கூறுகள் (symmetry elements) இடம் பெயர்ப்புக் கூறுகளைப பெற்றிருக்கின்றன என்பதை நினைவில் கொள்ள வேண்டும். தவிர, 32 புள்ளிக் குழுக்களைக் கருதுவதுடன் ஒரேமாதிரியான கோணவியல் தொடர்புடைய (angular relationship) சமச்சீர் குழுக்களையும் கருதுவது தேவையாக உள்ளது. இந்தச் சமசீர் குழுககள் உண்மையான சுழறசி அச்சுக்களுககு (rotation axes) பதிலாக திருகு அச்சுக்களை (screw axes) கொண்டுள்ளன. அதேபோல, அங்கு உண்மையான எதிரொளிப்புத் தளங்களுக்குப பதிலாக சறுக்கு தளங்களை (glide planes) கொண்டுள்ளன. இவற்றில் சரிசமமான (isogonal) சமசீர் குழுககள் சேர்ந்துள்ளன. இதுவே அணிக கோவையுடன் சமச்சீர் குழுக்கள இணைவதற்கான 230 வெவ்வேறு வழிகளாக ஆகின்றன.

148 வேற்றுப்பொருள் கடத்துகை (Impurity conductivity)

சில குறிப்பிட்ட வேற்றுப்பொருள் அணுக்கள் குறைநத செறிவில் குறைகடத்திகளுள் நுழையும்போது, அவைறறில் தோன்றும் மின் கடத்தும் திறனைக் குறிக்கும் அளபுருவே வேற்றுப் பொருள் கடத்துகை ஆகும். சில குறிபபிடட வேற்றுப் பொருள அணுக்கள் குறைகடத்தியினுள் நுழையும்பொழுது – (எடுத்துக்காட்டாக, பாஸ்பரஸ் போன்ற ஐந்தாம் குழுமத் தனிம அணுக்கள் சிலிக்கான் அல்லது ஜெர்மானியத்துள் நுழையும்பொழுது) – எலக்ட்ரான் நிலைகளே சாத்தியமில்லாத தடுக்கப்பட்ட பட்டைக்குள் கடத்துகைப்பட்டையின் கீழ்முனைக்கு அருகே எலக்ட்ரான் வழங்குநிலைகள் (donar states) உண்டாக்கப்படுகின்றன. இத்தகைய கடத்துகை அமைப்பு n வகைக் குறைகடத்தி என அழைக்கப்படுகின்றது. இது போன்று, அலுமினியம் முன்னிட்ட மூன்றாம குழும அணுக்கள் சிலிகான் அல்லது ஜெர்மானியத்தில் நுழையு ம் பொழுது

தடுக்கப்பட்ட பட்டையினுள் இணைதிறன் பட்டைக்கு அருகில் எலக்ட்ரான் ஏற்பு நிலைகள் (acceptor states) உண்டாக்கப்படுகின்றன. இத்தகைய கடத்துகை அமைப்பு p வகைக் குறைகடத்தி எனப்படுகிறது. இம்மாசு நிலைகளில் அமர்ந்திருக்கும் மின்னூட்ட ஊர்திகளின் – எலக்ட்ரான் அல்லது நேர் மின்னூட்டத் துளைகள் – பிணைப்பு ஆற்றல் மில்லி எலக்ட்ரான் வோல்ட் அளவில் இருப்பதால், n வகைக் குறைகடத்திகளில பெருவாரியான மின்னூட்ட ஊர்திகளாகிய எலக்ட்ரான்களும், p வகைக் குறைகடத்திகளில பெருவாரியான ஊர்திகளாகிய நேர் மின்னூட்டத்துளைகளும் மின் கடத்தலுக்குக் காரணமாக அமைகின்றன. வேற்றுப் பொருட்களின் செறிவை அதிகரிப்பதனால் குறைகடத்திகளின் கடத்துகை அதிகரிக்கிறது. ஆகவே வேற்றுப் பொருளின் செறிவின் மூலம குறைகடத்திகளின் கடத்துகையை நாம் வெகுவாகக் கட்டுப்படுத்த முடிகிறது. குறைகடத்திகளின் இச்சிறப்புப் பண்பே தொழில் நுட்பத் துறைகளில இவை வெகுவாகப பயன்படுத்தப்படுவதற்கான தலையாய காரணமாகும்.

149 ஜோஸப்சன் விளைவு (Josephson effect)

இரண்டு மீக கடத்திகட்கிடையே (superconductors) ஏற்படும் குவாண்டவியல் (quantam mechanical) விளைவாகும் இது. B.D. Josephson என்பவரால் 1962–ஆம் ஆண்டு தெரிவிக்கப்பட்ட இவ்விளைவினை 1963–ஆம் ஆண்டு பரிசோதனை மூலம் நிரூபிக்க முடிந்தது இரண்டு மீக் கடத்தும் உலோகங்கட்கிடையே ஒரு மெல்லிய மின்கடத்தாப் பொருள் வைக்கப்படும்போது அவ்வுலோகங்கட்கிடையே எலக்ட்ரான்கள் பாய்வதற்கு வகை ஏற்பட்டு அதனால் சிறு மின்னோட்டம் உண்டாகும் என்பதே இவ்விளைவின் கருத்தாகும். இதனை எலெக்ட்ரான்களின் அலைப்பண்பு (wave nature) மூலமாகவே குவாண்டவியல முறையில் விளக்க முடியும். இது திசைமாறா மின்னோட்ட ஜோஸப்சன் விளைவு என்றும் திசைமாறு மினனோட்ட ஜோஸப்சன் விளைவு என்றும் இரு வகைப்படும் முன்னதை ஆண்டெர்சன (P.W. Anderson) என்பவரும், பின்னதை பௌல் (J. M. Bowl) என்பவரும் முறையே சோதனைகள் மூலம் நிரூபித்துக் காட்டினர்.

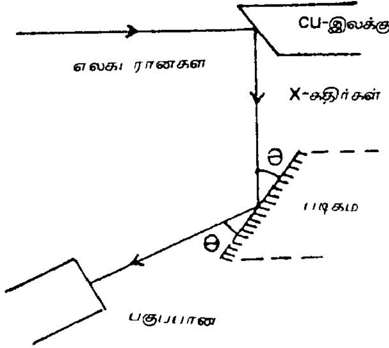
150 BCS கொள்கை (BCS theory)

கடத்திகளின் மீக் கடத்தும் திறனை விளக்க வந்த கொள்கைகளுள் சிறந்த நுணணியல கொள்கை (microscopic theory) BCS கொள்கையாகும். இஃது 1957–ஆம் ஆண்டு பாரடீன், கூப்பர் மற்றும ஷரீபர் ஆகியோரால் கூட்டாக வெளியிடப்பட்டது. கடத்திகளின் சாதாரணக கடத்துத திறனுக்கும மீககடத்துத் திறனுககும் உள்ள வேறுபாடுகளை இககொளகை நன்றாக எடுத்துக் காட்டுகிறது ஒரு இயல்பான கடத்தியில் மின்னோட்டம் செலவது கட்டற்ற எலகட்ரான்களின் (free electrons) ஓட்டத்தால் ஆகும்; இவை ஒன்றை ஒன்று எதிர்க்கும் விசை (repulsive force) கொணடவை. ஆனால் இதே கடத்தி மீக் கடத்தி ஆகும்போது இநத எலகடரான்களிடையே ஃபோனான்களின் கூட்டு முயற்சியால் (electron-phonon interactions) ஓர் சாப்புவிசை உண்டாகின்றது. அவை இணையாக இருந்து, கடத்தியின அணிககோவை வழியே, சிதறலடையாமல் மின்தடையின்றிச செல்கின்றன. BCS கொளகை மூலம 'மேசுனர் விளைவு' போனற மீக் கடத்தியின் பிற இயல்புகளைச் சீரிய முறையில விளகக முடியும்.

151 X-கதிர் விளிம்பு விளைவு (X - ray diffraction)

X - கதிர்களின் விளிம்பு விளைவினால் பொருட்களின படிக அமைப்புகளைப் பற்றி அறிய முடிகின்றது. இவ்விளைவு பொருளின் படிக அமைப்பையும், படுகின்ற கதிர்வீச்சின அலைநீளத்தையும் பொறுத்தது. X-கதிர்வீச்சின் அலைநீளம் பொருளின் அணிககோவை மாறிலிக்குச் (lattice constant) சமமாகவோ அல்லது குறைவாகவோ இருக்கும்பொழுது, அணிக்கோவைத் தளத்தின் (lattice planes) மீது விழும் X-கதிர்களின்

திசையும், விளிம்பு விளைவினால் அவை திரும்பும் திசையும் முற்றிலும் மாறுபட்டிருக்கும். படிகங்களைப் பற்றி ஆய்விற்கு 10 முதல் 50 கிலோ எலெக்ட்ரான் வோல்ட் (keV) வரையிலான ஆற்றலுடைய X-கதிர்கள் தேவைப்படுகின்றன. டீ ப்ராக்லீ (de Broglee) விதிப்படி $E = h\upsilon = (hc\lambda)$; இதில் E - கதிர் வீச்சின் ஆற்றல், h - ப்ளாங்க் மாறிலி $= 6.62 \times 10^{-34}$ Js, c– கதிர்வீச்சின் திசைவேகம், υ - அதிர்வெண் λ – அலைநீளம். மேறகண்டவற்றின் மதிப்புகளைக் கொண்டு λ (Å) = (12.4/E(keV)) என்று எழுதலாம்.



படிக அமைப்புகளைப் பற்றிய ஆய்விற்கு ஒரே அலைநீளமுடைய (monochromatic) X - கதிர்க்கற்றைகள் தேவைப் படுகின்றன. எனவே, ஓர் இலக்கினுடைய (target) அணுக்களைக் கிளர்ச்சி (excite) செய்து, அவை பின்பு தளர்வு அடையும பொழுது வெளிப்படும் சிறப்பு X-கதிர்கள் (characteristic X-rays) சோதனைக்குப் பயன் படுத்தப படுகின்றன. எடுத்துக்காட்டாக, தாமிரம் ஒரு சிறந்த இலக்கு. தாமிரத்திலுள்ள எலெக்ட்ரான்களைக் கிளர்சசி செய்ய முடுக்கப்பட்ட எலெக்ட்ரான்களைப் பயன் படுத்துகின்றோம். அப்போது கிளர்ச்சி யடைந்த தாமிரத்தின் உட்கூடு எலெக்ட்ரான்கள தளர்ச்சி யடையும்போது 1.5418Å (Angstrom unit) அலைநீளத்தில் Cu K_{α} - என்ற சிறப்பு X-கதிர்கள் அதிக அளவில் வெளிப்படுகின்றன இந்தக கற்றைகளின் ஆற்றல் நமக்குத் தேவையான வரம்புக்குள் உள்ளது. தாமிரம் ஒரு சிறந்த வெப்பககடத்தி. அதிக உருகுநிலை கொண்டது. படிகங்களில் அணுக்கருக்கள் எலெக்ரான்களைவிட அதிக எடையுள்ளன வாதலால் X-கதிர்கள் அவற்றால் சிதறுதல் அடைவதில்லை. ஆனால் அணிக்கோவை அணுக்களில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள்மீது படும்பொழுது X-கதிர்கள் விளிமபு விளைவிற்கு உள்ளாகின்றன X- கதிர் விளிம்பு விளைவின் மாதிரிப் படம் இங்குக் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

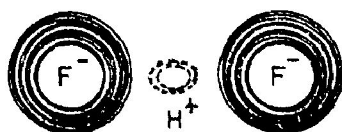
152 ஸ்காட்கி அரண் (Schottky barrier)

ஓர் உலோகத்துடன் தொடர்பு கொள்ளும் குறைகட த்தியில் உருவாகும் மெல்லேடு (layer) ஸ்காட்கி அரண் எனப்படும். மின்னூட்ட ஊர்திகள் (charge carriers) மிகக் குறைந்து காணப்படும் இப்பகுதியை வறட்சி அடுக்கு (depletion layer) எனலாம். ஓர் உலோகக் குறைகடத்தி டையோடு ஸ்காட்கி டையோடு அல்லது ஸ்காட்கி அரண் எனக் கூறப்படுகிறது. அலுமினியம் போன்ற உலோகத்தை விரவல் முறையில் குறைகடத்தியோடு தொடர்பு ஏற்படுத்தலாம. இந்த டையோடின் சிறப்பியல்புகள் சாதாரண P-N சந்தி டையோடை ஒத்திருந்தாலும், இதன் செயல்முறைகள் மாறுபட்டவை. இதன் சந்தியில் எலக்ட்ரான்கள் தங்குவதில்லை. எனவே காலதாமதமின்றி இதனை இயக்கவும அணைக்கவும் (on-off) இயலும். ஸகாட்கி டையோடை டிரான்சிஸ்டருடன் இணைத்து டிரானசிஸ்டரில் ஏற்படும நேர தாமதத்தைக் குறைக்கலாம்.

153 ஹைட்ரஜன் பிணைப்பு (Hydrogen bond)

ஹைட்ரஜனில் ஒரே ஒரு எலெக்ட்ரான் இருப்பதால் அது மற்ற ஓர் அணுவோடு மட்டும கூடி சம இணைப்பை உருவாக்கும் என்று எதிர்பார்க் கிறோம். ஆனால் ஒரு சில சூழ்நிலைகளில் ஒரு தனிப்பட்ட ஹைட்ரஜன் அணு ஓரளவு உறுதியான விசையால் இரு

அணுக்களாலும் இழுக்கப்பட்டு அவற்றிடையே ஹைட்ர ஜன் இணைப்பை உருவாக்குகிறது. எடுத்துக்காட்டிற்கு HF_2 மூலக்கூறை எடுத்துக் கொள்வோம்.



இந்த இணைப்பின் ஆற்றல் தோராயமாக 0.1 எலெக்ட்ரான் வோல்ட். ஹைட்ரஜன் இணைப்பு மின் எதிர் மிக்க (most electronegative) அணுக்களுடன் மட்டுமே, குறிப்பாக ஃபுளூரின் (F), ஆக்ஸிஜன் (O), நைட்ரஜன் (N) அணுக்களுடன் மட்டுமே உருவாவதால் இந்த இணைப்பு பெரிதும் அயனித் தன்மையுடையது என்று நம்பப் படுகிறது. ஹைட்ரஜன் பிணைப்பின் அயனித்தன்மை உச்ச நிலையில், ஹைட்ரஜன் அணு தன்னுடைய எலெக்ட்ரானை மூலக்கூறில் உள்ள மற்ற ஈர்க்கவல்ல அணுவிற்குக் கொடுத்து விடுகிறது; அப்போது புரோட்டான் ஹைட்ரஜன் பிணைப்பை உருவாக்குகிறது. ஹைட்ரஜன் பிணைப்புகள், புரதம் மற்றும் கரி அமில மூலக்கூறுகளை அவற்றின் இயல்புநிலை வடிவங்களில் நிலை நிறுத்துகின்றன.

சார்பியலும் குவாண்டம் எந்திரவியலும்

Relativity and Quantum Mechanics

154 அழிப்பு இயக்கி (Annihilation operator)

அழிப்பு இயக்கி ஒரு துகளை நீக்குவதைக் குறிப்பதற்குப் பயன்படுகிறது. $\psi^{(n)}$ என்ற அலைச் சார்பத்தினால் குறிக்கப்படும் n துகள்களைக் கொண்ட ஒரு நிலையின்மீது a என்ற அழிப்பு இயக்கி ஒரு முறை செயற்படும்போது அதிலிருந்து ஒரு துகள் நீக்கப்பட்டு $\psi^{(n-1)}$ என்ற அலைச்சார்பத்தினால் குறிக்கப்படும் (n-1) துகள்களைக் கொண்ட நிலையாக மாறுகிறது. $a\psi^{(n)} = \sqrt{n}\,\psi^{(n-1)}$. அழிப்பு இயக்கி n துகள்கள் உள்ள நிலையின்மீது n முறை தொடர்ந்து செயற்படும்போது n துகள்களும் அழிக்கப்பட்டு அது வெற்றிடமாக மாறுகிறது. ஆனால் வெற்றிடத்தில் அழிக்கப்பட வேண்டிய துகள்கள் ஏதும் இல்லாததால், வெற்றிடத்தின்மீது அழிப்பு இயக்கி செயற்படும்போது அந்த நிலையே அழிக்கப்பட்டு சுழியாக மாறுகிறது. $a\psi^{(0)} = 0$.

155 ஆயக்குறியீடு (Coordinate representation)

குவாண்டம் இயற்பியலில் ஒரு துகளின் நிலையைக் குறிப்பதற்கு இருப்பிட ஆய முறையோ அல்லது உந்த ஆயமுறையோ பயன்படுகிறது. இருப்பிட ஆயமுறைக் குறியீட்டில் (x, y, z) என்ற இருப்பிட இயக்கிகளின் அயகன் திசையிகள் விரவியுள்ளன. ஆயமுறைக் குறியீட்டில் ஒரு துகளின் நிலையைக் குறிக்கும் அலைச்சார்பம் $\psi(\vec{r}, t)$ என்றால், உந்த ஆய முறைக் குறியீட்டில் அதன் அலைச்சார்பம் $\varphi(\vec{k}, t)$ எனப்படும். ஃபூரியர் மாற்றுச் சமன்பாடுகளைப் பயன்படுத்தி ஒரு ஆயக்குறியீட்டிலிருந்து அடுத்த ஆயக்குறியீட்டிற்குச் செல்லலாம்.

156 ஆயமாற்றங்கள் (Co-ordinate transformations)

ஒரு நான்கு பரிமாண ஒப்பிடுதளத்தில், ஒரு நிகழ்வை முற்றிலுமாக விவரிக்க, மூன்று வெளி ஆயங்களும், ஒரு கால ஆயமும் வேண்டியிருக்கிறது. இந்த ஆயங்கள் மூலம், அந்த நிகழ்வுக்கான இயற்பியல் விதிகளை எழுதலாம். ஒப்பிடு தளத்தை இப்படித்தான் தேர்ந்தெடுக்கவேண்டுமென்ற நியதி இல்லாததால், வெவ்வேறு ஆய்வாளர்கள் வெவ்வேறு விதமான ஒப்பிடு தளங்களைக் கையாளக் கூடும். ஆனால் அந்த நிகழ்வு பற்றிய இயற்பியல் விதிகள் எல்லா ஆய்வாளர்களுக்கும் ஒரே மாதிரியாக இருப்பதால், ஓர் ஆய்வாளருடைய ஆயங்களுக்கும் மற்றொரு ஆய்வாளருடைய ஆயத்தொலைகளுக்கும் இடையே சில சமன்பாடுகளை எழுத முடியும். இரு ஆய்வாளர்களுடைய ஆயங்களை இணைக்கும் இந்தச் சமன்பாடுகளை 'ஆய மாற்றங்கள்' என்கிறோம்

157 ஆர அலைச் சமன்பாடு (Radial wave equation)

ஒரு துகளின் நிலையைக் குறிப்பதற்கு ஷ்ரோடிஞ்கர் சமன்பாட்டை எழுதும்போது பல்வேறு அச்சமைப்புகளைப் பயன்படுத்தலாம். r, θ, ϕ என்ற ஆயங்களைக் கொண்ட கோளகத் துருவ அச்சமைப்பு (spherical polar co-ordinate system) இதில் ஒன்றாகும். ஷ்ரோடிஞ்கர் சமன்பாட்டில் இம்மூன்று மாறிகளையும் தனித் தனியாகப் பிரித்து மூன்று சமன்பாடுகளாக எழுதலாம். ஒவ்வொரு சமன்பாட்டிற்கும் R(r), Θ(θ), φ(ϕ) என்ற தனித்தனி அலைச் சார்பங்கள் உண்டு. ஷ்ரோடிஞ்கர் சமன்பாட்டின் கூட்டு அலைச் சார்பு இம்மூன்று அலைச் சார்புகளையும் பெருக்குவதால் பெறப்படுகிறது

$$\psi(r, \theta, \phi) = R(r)\,\Theta(\theta)\,\varphi(\phi)$$

r என்ற ஆயத்தை மட்டும் மாறியாகக் கொண்ட சமன்பாடு ஆர அலைச் சமன்பாடு என வழங்கப்படுகிறது. இச் சமன்பாட்டின் தீர்வின் மூலம் துகளின் ஆற்றல் ஐகன் மதிப்புகளையும், ஆர அலைச் சார்பங்களையும் (radial wave function, R(r)) நாம் பெறுகிறோம்.

158 ஆற்றல்–உந்தம் தொடர்பு (Energy-momentum relation)

ஒரு பொருள் v என்ற திசைவேகத்தோடு இயங்குவதாகக் கொள்வோம். இதன் ஆற்றலைக் கண்டறிந்து அதை உந்தத்தோடு தொடர்புபடுத்தலாம். m பொருண்மையுள்ள ஒரு பொருள v என்ற திசைவேகத்தோடு இயங்கும்போது அதனோடு இணைந்த உந்தம் P=mv என்பது நமக்குத் தெரியும். ஆனால் சார்பியல் கொள்கையின்படி, இந்த உந்தத்தை, $m = E/c^2$ என்ற சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி, $P = (Ev)/c^2$ என்றும் எழுதலாம். பின்னர்

$$P = \frac{m_0 v}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}, \qquad E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}$$

மேலேயுள்ள சமன்பாட்டைப் பின்வருமாறும் எழுதலாம்:

$$E^2 - \frac{E^2 v^2}{c^2} = m_0^2 c^4 .$$

இப்பொழுது உந்தம் P-க்கான கோவையைப் பயன்படுத்தினால், நமக்கு

$$E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$$

என்ற சமன்பாடு கிடைக்கின்றது. இச்சமன்பாடு ஆற்றலுக்கும் உந்தத்திற்கும் இடையேயான தொடர்பாகும். காட்டாக, ஆற்றலும் உந்தமும் பெற்ற ஒரு போட்டானுக்கு இதே சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தலாம்.

159 இடப்பெயர்வு நிகழ் தகவு (Transition probability)

அணுவின் இரு ஆற்றல மட்டங்களுக்கிடையே எலக்ட்ரானின் இடப்பெயர்வு நிகழ்ச்சிக்கான வாய்ப்பை முதன்முதலில் Heisenberg, Max Born, Jordan போன்றவர்கள் அணி (matrix) வழியாக, கணக்கிட முடியும் என்று கண்டறிந்தனர். ஒரு பொருளின் இயற்பியல் கட்புலன் அளவுப் பண்புகளை (physically observable quantities), அதன் அலை உருவின் துணையின்றியே கணக்கிட முடியும் என இவர்கள் கண்டறிந்தனர். மாறாக, ஷ்ரோடிஞ்கர் பருபொருளின் அலைவுருக்களைக் கொண்டு உலைவு முறையில் நேரம் சார்புடைய பெயர்வு நிகழ்தகவை அறிதல் எளிது என்று கண்டறிந்தார். கிளர்ச்சியுற்ற எலக்ட்ரான்களின் இடப்பெயர்வு மூன்று விதமாக நிகழும். 1. வெளித் தூண்டுதலால் ஏற்படும் வீசுகதிர் உட்கவர்தல் (induced absorption). 2 வெளித் தூண்டுதலால் ஏற்படும் வீசுகதிர் உமிழ்தல (induced emission). 3. தன்னிச்சையாக வீசுகதிர் உமிழ்தல் (spontaneous emission).

m, n என்ற இரு ஆற்றல் மட்டங்களுக்கு இடையே ($E_m > E_n$) எலக்ட்ரான் இடப்பெயர்வு அடையும்போது, இடப்பெயர்வு நிகழ்தகவு, இம்மூன்று வகைக்கும் முறையே $B_{n\to m}$, $B_{m\to n}$, $A_{m\to n}$ என்று கொண்டால் ஐன்ஸ்டீனின் கொள்கைப்படி

$$B_{n\to m} = B_{m\to n} \qquad (1)$$

$$A_{m\to n} = \frac{8\pi \upsilon_{mn}^3}{c^3} B_{m\to n} \qquad (2)$$

இதில் $(E_m - E_n) = h\upsilon_{mn}$

சமன் (1), சமன் (2) இவை இடப்பெயர்வு நிகழ்தகவுக்கான தொடர்பைத் தருகின்றன.

160 இடைவினை ஹேமில்ட்டோனியன் (Interaction Hamiltonian)

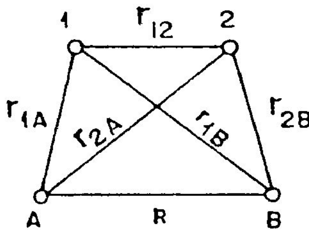
இயற்கையில் எல்லா அமைப்புகளும் வெவ்வேறு விசைகளின் மூலம் ஒன்றோடொன்று இடைவினை புரிகின்றன. எனவே ஒரு அமைப்பின் இயக்க வியலைப்பற்றி அறிந்து கொள்வதற்கு அந்த அமைப்பில் இயற்கையில் அமைந்துள்ள விசைகளைப் பற்றியும் மற்றும் அவைகட்கிடையே உள்ள இடைவினை விசைகளைப் பற்றியும் தெரிந்து கொள்வது மிகவும் தேவை. ஓர் அமைப்பின் இயக்கவியலைக் குறிக்கும் அடிப்படைச் சமன்பாடு அதன் ஹேமில்ட்டோனியன் ஆகும். தத்தம் அடிப்படை மாறிகளைக்கொண்ட இரு அமைப்புகள் இருப்பதாகக் கொள்வோம். அந்த இரண்டு அமைப்புகளையும் இரண்டு தனித்தனித் துகள்களாகவோ, அல்லது ஒரு துகளும் ஓர் அணுவுமாகவோ அல்லது இரண்டு அணுக்களாகவோ எடுத்துக் கொள்ளலாம். முதல் அமைப்பின் மொத்த இயக்கவியல் மாறிகளை '1' என்றும், இரண்டாவது அமைப்பின் மொத்த இயக்கவியல் மாறிகளை '2' என்றும் அடையாளப்படுத்திக் கொள்வோம். இந்தக் கூட்டு அமைப்பின் ஹேமில்ட்டோனியன் மேற்கூறிய இரண்டு குழு ('1' ம் '2' ம்) மாறிகளையும் பொறுத்து அமையும். அதை H(1,2) என்று வைத்துக் கொள்வோம். இரண்டு அமைப்புகளும் ஒன்றோடொன்று உள்வினை புரியவில்லையெனில் மேற்சொன்ன ஹேமில்ட்டோனியன் இரண்டு அமைபபுகளின் தனித்தனி ஹேமில்ட்டோனியன்களின் கூடுதலுக்குச் சமமாக இருக்கும்.

$$H(1,2) = H_1(1) + H_2(2) \tag{1}$$

ஆனால் இரண்டு அமைப்புகளும் ஒன்றோடொன்று இடைவினை புரியுமானால் மேற்கண்ட ஹேமில்ட்டோனியனோடு கூடுதலாக இரண்டு அமைப்புகளின் மாறிகளையும் பொறுத்துள்ள ஒரு பகுதியை $H_{12}(1,2)$–யும் சேர்க்க வேண்டும்.

$$H(1,2) = H_1(1) + H_2(2) + H_{12}(1,2) \tag{2}$$

சமன்பாடு (2)–ல் H(1,2) க்கு உள்வினை ஹேமில்ட்டோனியன் பகுதி என்று பெயர். அநேகமாக பல இயற்பியல் சிக்கல்களில் (physical problems) உள்வினைப் பயன்களை ஈடுபடுத்தும்பொழுது, சிக்கல்களின் தீர்வு காண்பது மிகவும் கடினமாக இருப்பதால் உள்வினைப பயனை சிறிய உலைவாகக் (small perturbations) கருதுவது வழக்கம். காட்டாக, இரண்டு ஹைடிரஜன் அணுக்களாலான ஒரு ஹைடிரஜன் மூலக்கூறை எடுத்துக் கொள்வோம் (படம்). இரண்டு ஹைடிரஜன் அணுக்களின் அணுக்கருக்களை A, B என்றும, எலக்ட்ரான்களை 1,2 என்றும அடையாளப்படுத்திக் கொள்வோம். இரண்டு அணுக் கருக்களும் நிலையாக இருப்பதாகக் கொள்வோம். எலக்டரான்களின் மின்னூட்ட மதிப்பை e என்றும் இரண்டு அணுக்கருக்களுக்கிடையில் உள்ள தூரம் R என்றும் கொள்வோமானால், ஹைடிரஜன் மூலக்கூற்றிற்கான உள்வினை ஹேமில்ட்டோனியனாக கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.



$$H_{12}(1,2) = -\frac{e^2}{r_{1A}} - \frac{e^2}{r_{2A}} - \frac{e^2}{r_{1B}} - \frac{e^2}{r_{2B}} + \frac{e^2}{R} + \frac{e^2}{r_{12}} \tag{3}$$

161 ஈர்ப்பு நிறை (Gravitational mass)

F என்ற ஒரு விசையால் ஒரு பொருளுக்கு a என்ற முடுக்கத்தைக் கொடுக்க முடிந்தால், நிலைமப் பொருண்மையானது F/a = M ஆகும். ஒரு பொருள் ஈர்ப்புப் புலத்தில்

பெறும் ஈர்ப்புவிசையின் அளவே ஈர்ப்புப் பொருண்மையாகும். ஈர்ப்பு விசையானது m-க்கு நேர்தகவிலிருக்குமாறு ஈர்ப்பியல் நிறை வரையறுக்கப்படுகிறது. அதாவது, $F_G = M_G g$ ஆகும். இதில் g என்பது 9.8 மீ/வி^{2}. இதிலிருந்து முடுக்கமானது $a = (M_G/M)g$. எல்லாப் பொருட்களுக்கும் $M_G = M$. சார்பியல் நிறையானது நிலைம நிறைக்குச் (inertial mass) சமம். எனில், எல்லாப் பொருட்களும் ஒரே முடுக்கத்துடன் (g) விழும் என்பது தெரிகிறது. இதைப் பின்வரும் எடுத்துக்காட்டைக் கொண்டு விளக்கலாம். இலகு ஊசலின் அலைவு நேரத்திற்கான கோவையைப் பின்வருமாறு எழுதலாம என்பது தெரிந்ததே.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \times \sqrt{\frac{M}{M_G}}$$

M/M_G-ன் மதிப்பு வெவ்வேறு பொருட்களுக்கு மாறுமாயின் ஊசல் குண்டின் மூலப்பொருள் மாறும்பொழுது அலைவுநேரம் மாற வேண்டும். இதைச் சோதனையின் மூலம் எல்லாப் பொருட்களுக்கும் ஒரே அளவாயிருப்பது காணப்பட்டது. இதனால்தான் ஈர்ப்பியல் நிறையும நிலைம நிறையும் ஒன்றே எனக் கருதப்படுகிறது. இச்சமத்துவத்தின் காரணமாகத்தான் சமநிலைக் கொள்கை (principle of equivalence) என்பது உருவாக்கப்பட்டது.

162 உடனிகழ்வு அய்கன் சார்பங்கள் (Simultaneous Eigen functions)

"மட்டப் பிரிகையற்ற (non-degenerate) அய்கன் மதிப்புடைய (Eigen value) அய்கன் சார்பம் (Eigen function) ஒன்று, இரு மாற்றீடு செயலிகளில் (commuting operators) ஒன்றினால் செயறபடும்போது, அச்சார்பம, இரண்டாவது செயலிக்கும் அய்கன் சார்பமாக இருக்கும்". இதை உடனிகழ்வு அய்கன் சார்பம என்கிறோம். மாற்றீடான A, B என்ற இரு செயலிகளைச் சார்ந்த அய்கன் மதிப்புகள் முறையே a, b எனக் கொள்வோம். AB = BA . φ_a என்பது ஒரு அய்கன சார்பம் என்றால்,

$$AB\,\varphi_a = BA\,\varphi_a = Ba\,\varphi_a$$

$$AB\,\varphi_a = aB\,\varphi_a$$

ஆகவே, $B\,\varphi_a$ என்பதும், Aயைச சார்ந்த ஓர் அய்கன் செயலுருபு எனவாகிறது. a, ஒரு மட்டப்பிரிகைபறற அயகன மதிபபாதலால், $B\varphi_a$, φ_a –ன் மாறிலிப் பெருக்கமாகததான் இருககமுடியும

$$B\,\varphi_a = b\,\varphi_a$$

$$AB\,\varphi_a = ab\,\varphi_a = ba\,\varphi_a$$

$$BA\,\varphi_a = ba\,\varphi_a = ab\,\varphi_a$$

எனவே, மட்டப்பிரிகையற்ற ஓர் அய்கன் மதிபபைச் சார்ந்த அய்கன் செயலுருபு, மாறறீடான இரு அய்கன செயலிகளுக்கும உடனிகழ்வு சார்பமாகத திகழும்.

163 உடனிகழ்வு பற்றிய சார்பியல் (Relativity of simultaneity)

இரு நிகழசசிகள் ஒரே காலததில் நிகழ்வதாகக் கொள்வோம். S' என்ற இயங்கு சட்டம் V என்ற அளவில் S-ஐச சார்ந்த திசைவேகத்தில் X-அச்சின் திசையில் செல்வதாகக கொள்வோம். S என்ற நிலைச்சட்டத்தில் x_1 மற்றும் x_2 என்ற இரு நிகழ்சசிகள ஒரே காலத்தில் நிகழ்வதாகக கொள்வோம். t_1 மற்றும் t_2 ஆகியவைகளை S' என்ற இயங்கு சட்டத்தில் இருந்து காணப்படும் நிகழ்ச்சிகளுக்கான காலமாகக் கொளவோம. லாரனஸ நிலைமாற்றச் சமன்பாடுகளின்படி.

$$t_2' - t_1' = \frac{1}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}\left[(t_2 - t_1) - (v/c^2)(x_2 - x_1)\right].$$

t_1 மற்றும் t_2 என்பவை S சட்டத்தில் நடக்கும் நிகழ்ச்சிகளுக்கான காலங்களாகும். C என்பது ஒளியின் திசைவேகம். அடைப்பிற்குள் இருக்கும் பகுதி சுழியானால், இரு நிகழ்ச்சிகளும் ஒரே காலத்தில் S' என்ற சட்டத்தில் நிகழ்வதாகக் கொள்ளலாம். ஆனால், மேலே உள்ள சமன்பாட்டால் x_1-ன் மதிப்பும் x_2-ன் மதிப்பும் சமமில்லை. எனவே மேற்கூறிய இரு நிகழ்ச்சிகளும் S'-ல் ஒரே காலத்தில் நடைபெறுவதில்லை என்பது தெளிவாகிறது. S என்ற நிலைச் சட்டத்தில் நிலையாக உள்ள நோக்குநருக்கு இரண்டு வேறுபட்ட புள்ளிகளில் ஒரே சமயத்தில் நிகழ்வதாகக் காணும் நிகழ்ச்சிகள், பிறிதொரு இயங்கு சட்டம் S'-ல் ஒரே சமயத்தில் நிகழ்வதாகத் தோன்றாது. இங்கு S' என்ற சட்டம் S-ஐச் சார்ந்து இயங்கும் தன்மையுடையதாகவுள்ளது. ஆகவே உடனிகழ்வு (simultaneity) என்னும் கருத்து காலம், நீளம் ஆகியவற்றைப் போலவே சார்புடையது என்பது தெளிவாகிறது.

164 உலைவு (Perturbation)

பொருட்களுக்கிடையே உள்ள முறையான இயக்கத்தில், வேறொரு பொருளால் ஏற்படும் மிகச் சிறிய மாற்றம் உலைவு எனப்படுகிறது. கோளகளின் சீரான இயக்கத்தில் மற்றொரு கோளால் ஏற்படும் சிறிய உலைவை, பண்டைய கொள்கையின் உலைவு உத்தியால் (perturbation technique) கண்டறிய முடிந்தது. குவாண்டம் எந்திரவியலில், நேரிடையாக விடைகாண முடியாத சிக்கலான ஆய்வுப புதிர்களுக்கான தீர்வைப் பெறப் பயன்படுத்தும் தோராய முறை உத்திகளுள் (approximate techniques) ஒன்றுக்கு உலைவு உத்திகள் எனபெயர். இவை நேரம் சாரா உலைவு உததிகள் (time independent perturbation techniques). மற்றும் நேரம் சார் உலைவு உத்திகள் (time dependent perturbation techniques) என இருவகைப்படும். சீரான இயக்கத்திறகான ஆற்றல் செயலி (H_0 - Hamiltonian) உலைவினால் நேரமசாரா மாற்றம் அடைந்தால், இயக்கத்தின் அய்கன் மதிப்புச் சமன, $(H_0 + \lambda H^1)\psi = (E_0 + \lambda E^1)\psi$ ஆகும். H^1 நேரம் சாரா உலைவு ச் செயலி.λ ஒரு மாறிலி. இதில் E_0, E^1 முறையே உலைவற்ற மற்றும் உலைவினால் ஏற்படும் ஆற்றல் மதிப்பாகும். எடுத்துக்காட்டாக, ஹீலியம் அணுவில் இரு எலக்ட்ரான்கள் உள்ளன. அணுக்கருவிற்கும், ஒரு எலகட்ரானுக்குமிடையே தோன்றும கூவும் நிலை ஆற்றல், மற்றொரு எலக்ட்ரானின் எதிர்மின்னேறறத்தினால உலைவுபடும. இயக்கத்திற்கான ஆற்றல் செயலி, உலைவினால் நேரம்சார்ந்து மாறுபடுவதும் உணடு. பீட்டா கதிரியக்கம் மற்றும் அணு போட்டான் உமிழவு போன்றவை இவ்வகைப்படும்.

165 ஒத்த துகள்கள் (Identical particles)

பருபபொருட்கள் எலக்ட்ரான், புரோட்டான், நியூட்ரான் மற்றும குவார்க் போன்ற அடிப்படைத் துகள்களால் ஆனவை. ஒவ்வொரு வகையான அடிப்படைத் துகளும், நிறை (mass), மின்னூட்டம (charge), தற்சுழற்சி (spin) போன்ற சில சிறப்பியல்புகளைக் கொண்டு வரையறுககப்படுகின்றன. இவவகையான சிறபபியல்புகள் ஒவ்வொருவகையான துகளகளுக்கும் கோட்பாடுகளில் மாறா அளபுருக்களாக (constant parameters) தென்படுகின்றன.

இரண்டு துகள்களை ஒன்றுக்கொன்று மாற்றும்பொழுது அவற்றின் அளவிடக்கூடிய பணபுகள் (observables) மாறுபடுவதால் அத்துகள்களை ஒத்த துகள்கள் (identical particles) என்று அழைக்கிறோம். நுணுக்கமாகச் சொல்லப்போனால், முதல் துகளுக்கான இடம் (position), உந்தம் (momentum) மற்றும் இயக்கவியல் மாறுபாடுகளை இரண்டாவது துகளுக்கான அதே பண்புகளோடு மாற்றினால், எல்லா அளவிடக்கூடிய பண்புகளும் மாறாதிருக்கும். ஹேமில்டோனியன் (Hamiltonian) வடிவில் உள்ள

தொகுப்புகளுக்கு இது பொருந்தும். அதாவது H(1,2) = H(2,1). காட்டாக, எல்லா எலக்ட்ரான்களும் எல்லா வகையிலும் ஒரே மாதிரியான பண்புகளைக் கொண்டவை. ஆகவே ஓர் அமைப்புக்கான தத்துவ விளக்கங்களில் ஓர் எலக்ட்ரானுக்குப் பதிலாக மற்றொரு எலக்ட்ரானைப் பொருத்தும்பொழுது அந்த அமைப்பின் இயக்கம் பற்றிய ஊகத்தில் எந்த மாறுதலும் இருக்காது. இவ்வகையான ஒரே மாதிரி துகள்களில், அரை எண் அளவு தற்சுழற்சி கொண்ட பெர்மியான்கள் பவுலியின் விலக்கு விதிக்குட்பட்டவை.

166 ஒய்வுப் பொருண்மை மற்றும் ஒய்வு ஆற்றல் (Rest mass and rest energy)

ஒய்வுப் பொருண்மை (rest mass) : இயக்க ஆற்றல் ஒழிந்த நிலையில் ஒரு பொருளின் நிறை ஒய்வுப் பொருண்மையாகும். இதை m_0 எனக்கொள்வோம். S என்னும் சட்டத்தில் A, B எனும் ஒரே மாதிரியான பொருட்களை எடுத்துக் கொள்வோம். B, A - யைப் பொறுத்து u எனும் திசைவேகத்தில் செல்வதாகக் கொள்வோம். (சார்பியல் தத்துவத்தின் அடிப்படையில்) B-யின் m என்னும் சார்பியல் நிறை, m_0-உடன் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டின்படி தொடர்பு கொண்டுள்ளது :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}.$$

இங்கு u = 0 எனும்போது, $m = m_0$; c என்பது ஒளியின் திசைவேகம் (3×10^8 மீ/வினாடி).

ஒய்வு ஆற்றல் (rest energy) : ஒய்வான நிலையில் உள்ள துகள் ஒன்றின் ஆற்றலை ஒய்வு ஆற்றல் என்கிறோம ஒரு துகளின் மொத்த ஆற்றலானது ஒய்வு ஆற்றல் மற்றும் இயக்க ஆற்றல் ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகும். ஐன்ஸ்டினின் கூற்றுப்படி, $E^2 = p^2c^2 + m_0^2c^4$. இயகக ஆற்றல சுழியாகும்போது, p = 0; எனவே, $E = \pm m_0c^2$. நேர்குறி ஆற்றலை மட்டும கருத்தில கொண்டால், m_0c^2 என்பது ஒய்வு ஆற்றல், m_0 என்பது ஒய்வு நிறை

167 கட்டத் தொகுப்பு (Phase integral)

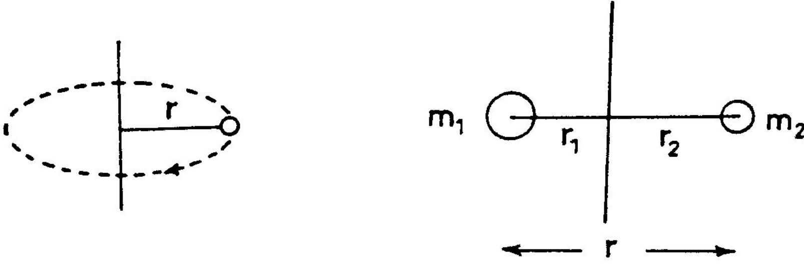
இயககவியலில ஓா அமைப்பின் நிலையை கட்டநிலையில் (phase) ஒரு புள்ளியின மூலம குறிப்பிடுவது உதவியாக இருககும். மீண்டும மீண்டும் தொடரும் இயககம (periodic motion) உள்ள ஓர் அமைப்பை எடுத்துக்கொள்வோம். அந்த அமைப்பின் N- விடுநிலைகளைக (degrees of freedom) N- ஆயத்தொலைகள் (q_i) மூலமாகவும் N- உடனியைவு உந்தங்கள் (canonically conjucate momenta) (p_i) மூலமாகவும் வரையறுப்போம். இப்பொழுது இந்த அமைப்பின் N-கட்டத் தொகுப்புகளை (phase integrals) கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம.

$$J_i = \int p_i dq_i \ (i=1,2, \ldots ,N).$$

எனவே ஓர் அமைப்பின 2N இயக்கத்திசை எண்களில், N-ஆயத்தொலைகளாகவும் (co-ordinates), (q_i), N- உந்தஙகளாகவும (p_i), இருந்தால், மேலே உள்ள கட்டத் தொகுப்பு கட்ட வெளியில் (phase space) ஒரு பரபபளவைக குறிக்கும்.

168 கட்டுறுதிச் சுழலி (Rigid rotator)

ஓர் அச்சிலிருந்து நிலையான ஒரு தொலைவில், அந்த அச்சைச் சுற்றிவரும் ஒரு திண்மப் பொருளுக்குக் கட்டுறுதிச் சுழலி என்று பெயர். ஈரணு மூலக்கூறு ஒன்றை எடுத்துக் கொள்வோம். அதற்குச் சுழற்சி இயக்கமும் சுழற்சி ஆற்றலும் உண்டு. ஈரணு மூலக்கூறில், m_1, m_2 என்பன அணுக்களின் பொருண்மைகள்; r_1, r_2 என்பன சுழல் அச்சிலிருந்து அணுக்களின் தொலைவுகள்; r என்பது அணு மையங்களுக்கிடையே உள்ள தொலைவு; இந்த மூலக்கூறின் குறைபடு பொருண்மை (reduced mass) $\mu = (m_1 m_2)/(m_1+m_2)$. குவாண்டம்



கொள்கைப்படி, அச்சைச் சுற்றிய மூலக்கூறுச் சுழற்சியானது அச்சிலிருந்து r என்ற தொலைவில் μ என்ற குறைபடு பொருண்மை சுழல்வதற்குச் சமம் ஆகும். அச்சைச் சுற்றிச் சுழலும் இந்தக் குறைபடு பொருண்மை ஒரு கட்டுறுதிச் சுழலியாகக் கருதப்பட்டு மூலக்கூறின் குவாண்டம் ஆக்கப்பட்ட சுழற்சி ஆற்றல் அளவுகள் கணக்கிடப்படுகின்றன. இதில் கிடைக்கும் ஆற்றல் நிறமாலைக் கோடுகளுக்கு இடையே உள்ள தொலைவுகள் சமம் எனக் கணிப்பீடுகள் காட்டுகின்றன. ஆனால் உண்மையில் அவை அப்படியில்லை; காரணம் மூலக்கூறுச் சுழற்சி கட்டுறுதிச் சுழற்சி அல்ல. மூலக்கூறு சுழலும்போது அணுவிடைத் தொலைவு அதிகரிக்கிறது.

169 கடிகார முரண்பாடு (Time dilation)

ஓரே மாதிரியான A, B எனும் இரு கடிகாரங்கள் ஓய்வு நிலையில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். அப்போது, Aயைப் பொறுத்து, B ஒரு மாறுதிசை வேகத்தில் நகர்ந்து சென்று, சிறிது நேரம் கழித்து மறுபடியும் ஓய்வு நிலைக்கு வரும். இப்பயணத்திற்கு A கடிகாரம் காட்டும் நேரம் $t = t_2 - t_1$ எனில், B கடிகாரம் காட்டும் நேரம்

$$t' = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{1 - v^2/c^2}\ dt .$$

எனவே, $t' < t$ (1)

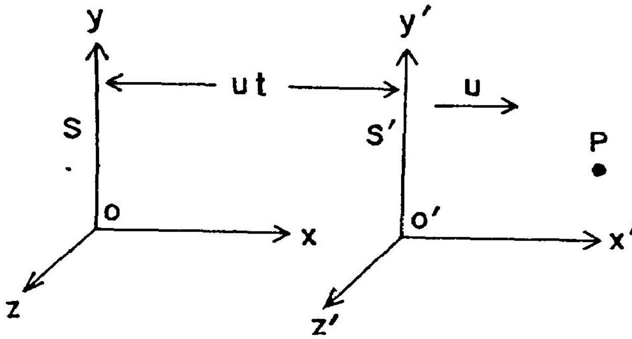
மாறாக, மேற்கூறிய நிகழ்வில், Bயைப் பொறுத்து A நகருவதாகவும் கொள்ளலாம். அதுபோது

$t < t'$ (2)

என்றிருக்க வேணடும். (ஏனெனில், எப்போதும் ஓடும் கடிகாரம் நேரத்தை இழக்கும்). சமனபாடுகள் (1)–ம், (2)–ம் ஒன்றுக்கொன்று முரண்பட்டதாக இருக்கின்றன. இதுவே கடிகார முரண்பாடு எனப்படுகிறது..

170 கலிலியோவின் சார்பியல் (Galilean relativity)

படத்தில் உள்ளது போல் O எனும் புள்ளியை மையமாகக் கொண்டுள்ள S எனும் நிலைம தளத்தை (inertial frame) கருதுவோம். O' எனும் புள்ளியை மையமாகவும், S-ஐப் பொறுத்து u என்னும் திசைவேகத்துடன் S' எனும் நிலைமத் தளம் நகருவதாகக் கருதுவோம்.



அவற்றின் சார்பு இயக்க மானது பொதுவான x, x' அச்சுக்கு இணையாக நடை பெறுவதாகக் கொள்வோம். ஒரு நிகழ்ச்சி P எனும் புள்ளியில் நடை பெறுவதாக இருக்கட்டும். S எனும் சட்டத்தில், பார்வையாளர் ஒருவர் அந்த நிகழ்ச்சியின் இடம் மற்றும் நேரத்தை, O என்னும் மையத்தைப் பொறுத்து x, y, z மற்றும் t என்று அளவிடுவதாகக் கருதுவோம். அதே நிகழ்ச்சியை S' எனும் தளத்தில் உள்ள பார்வையாளர், O' எனும் மையத்தைப் பொறுத்து x', y', z' மற்றும் t' என அளவிடுவதாகக் கருதுவோம். கலிலியோவின் சார்பியல் தத்துவப்படி x, y, z, t மற்றும் x', y', z', t' எனும் இரு அளவீடுகளுக்கும் இடையே உள்ள தொடர்பானது:

$$x' = x - ut \ ; \ y' = y \ ; \ z' = z; \ t' = t$$

எனவே கலிலியோவின் சார்பியல் கொள்கைப்படி, நீளம், நிறை, நேரம் போன்றவை பார்வையாளரின் சார்பு இயக்கத்தைப் பொறுத்து மாறுவதில்லை.

171 காண்ட்ராவேரியண்ட் டென்சர் (Contravariant tensor)

இரு பரிமாண வெளியில் x^i எனும் கூற்றுத் தொகுதியைப் பொறுத்து, A^1 மற்றும் A^2 எனும் இரு கணியங்களைக் கருதுவோம். அதேபோல், $\bar{x}^p$ எனும் கூற்றுத் தொகுதியைப் பொறுத்து அவ்விரு கணியங்களை $\bar{A}^1$, $\bar{A}^2$ என்று குறிப்பிடுவதாகக் கொள்வோம். (இங்கு, i, p = 1,2) இப்போது $\bar{A}^1, \bar{A}^2$ஐ, A^1 மற்றும் A^2 உடன் கீழ்க்கண்ட விதத்தில் தொடர்புபடுத்த முடியுமானால் பின் A^1 மற்றும் A^2 என்னும் இரு கணியங்களையும் காணட்ராவேரியண்ட் திசையி ஒன்றின் கூறுகள் என்று கூறலாம்.

$$\bar{A}^1 = \frac{\partial \bar{x}^1}{\partial x^1} A^1 + \frac{\partial \bar{x}^1}{\partial x^2} A^2 = \frac{\partial \bar{x}^1}{\partial x^i} A^i, \quad i = 1,2$$

$$\bar{A}^2 = \frac{\partial \bar{x}^2}{\partial x^1} A^1 + \frac{\partial \bar{x}^2}{\partial x^2} A^2 = \frac{\partial \bar{x}^2}{\partial x^i} A^i, \quad i = 1,2$$

இங்கு A^1 மற்றும் A^2ஐ தரம் ஒன்றுள்ள காண்ட்ராவேரியண்ட் டென்சர் ஒன்றின் கூறுகள் எனவும் அழைக்கலாம்.

172 காம்ப்டன் அலைநீளம் (Compton wavelength)

எலக்ட்ரான், புரோட்டான், நியூட்ரான் போன்ற ஒவ்வொரு துகளுக்கும் காம்ப்டன் அலைநீளம் என்ற ஒன்று உண்டு. எடுத்துக்காட்டாக, காம்ப்டன் அலைநீளம் $\lambda = \frac{h}{m_e c}$ என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கப்படுகிறது. இங்கு h என்பது ப்ளாங் மாறிலி. m_e என்பது எலக்ட்ரானின் ஓய்வு நிறை. c என்பது ஒளியின் திசைவேகம். ஓர் எலக்ட்ரானின்மீது போட்டான்களால் ஆன மின்காந்தக் கதிர்கள் மோதும்போது, கூலும் புலத்தினால்

வினைபுரிதல் நிகழ்வதால் எலக்ட்ரான்கள் புள்ளி மின்னூட்டமாகக் கருதப்படாமல் e என்ற மின்னூட்டம் விரவியுள்ள r_e என்ற பழமை ஆரத்தை (classical radius) உடைய கோளமாகக் கருதப்படுகிறது. காம்ப்டன் அலைநீளத்திற்கும் பழமை ஆரத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு $\lambda = r_e (hc/2\pi e^2)$ என்ற சமன்பாட்டினால் குறிக்கப்படுகிறது.

173 குறுக்கு நிறை (Transverse mass)

ஒரு முடுக்கப்பட்ட துகளின்மீது சார்பியல் விசை உண்டாக்கும் விளைவைப் பலவகைகளில் தருவிக்கலாம். அவற்றில் ஒன்று உந்தம் நேரத்தைப் பொருத்து மாறுகிறது என்பது. அதை பின்வரும் சமன்பாட்டால் வரையறுக்கலாம்:

$$f_s = \frac{d}{dt}\left(\frac{m\dot{x}^s}{(1-(u^2/c^2))^{(1/2)}}\right)$$

பொதுவாக மேலே குறிக்கப்பட்ட விசை, முடுக்கத்திற்கு இணையாக இருப்பதில்லை. விசை, முடுக்கத்திற்கு இணையாக இருக்க வேண்டுமானால், முடுக்கம் வேகத்திற்கு இணையாக அல்லது செங்குத்தாக இருக்க வேண்டும். விசை, வேகத்திற்கு இணையாக இருக்கும்பொழுது,

$$f_s = \left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)^{-(3/2)} m\ddot{x}^s.$$

விசை, வேகத்திற்கு செங்குத்தாக இருக்கும்பொழுது

$$f_s = \left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)^{-(1/2)} m\ddot{x}^s.$$

மேலே உள்ள சமன்பாட்டில் $\left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)^{-(1/2)}$ என்பது மாறுபட்ட நிறை என்று அழைக்கப்படுகிறது.

174 கோவேரியண்ட் டென்சர் (Covariant tensor)

இரு பரிமாண வெளியில் x_i என்னும் கூற்றுத் தொகுதியைப் பொறுத்து, A_1 மற்றும் A_2 என்னும் இரு கணியங்களை (quantities) கருதுவோம். அதேபோல், $\bar{x}_p$ என்னும் கூற்றுத் தொகுதியைப் பொறுத்து அவ்விரு கணியங்களை $\bar{A}_1$ மற்றும் $\bar{A}_2$ எனக் குறிப்பிடுவதாகக் கொள்வோம். இங்கு i, p = 1,2. இப்போது $\bar{A}_1$ மற்றும் $\bar{A}_2$ஐ , A_1 மற்றும் A_2 என்னும் இரு கணியங்களுடன் கீழ்க்கண்ட முறையில் தொடர்புபடுத்த முடியுமானால், A_1 மற்றும் A_2 ஆகிய இரு கணியங்களையும் கோவேரியண்ட் திசையி ஒன்றின் கூறுகள் எனக் கூறலாம்.

$$\bar{A}_1 = \frac{\partial x^1}{\partial \bar{x}^1} A_1 + \frac{\partial x^1}{\partial \bar{x}^2} A_2 = \frac{\partial x^1}{\partial \bar{x}^i} A_i, \quad i = 1,2$$

$$\bar{A}_2 = \frac{\partial x^2}{\partial \bar{x}^1} A_1 + \frac{\partial x^1}{\partial \bar{x}^2} A_2 = \frac{\partial x^2}{\partial \bar{x}^i} A_i, \quad i = 1,2.$$

இங்கு A_1 மற்றும் A_2 எனும் இரு கணியங்களை, தரம் ஒன்று உள்ள கோவேரியண்ட் டென்சர் ஒன்றின் கூறுகள் எனவும் கூறலாம்.

175 சமச்சீர் வெளி (Isotropy of space)

அண்டத் தத்துவத்தின் ஒரு அடிப்படைத் தற்கோள்தான் சமச்சீர் வெளி என்பதாகும். கோள்மண்டலம் (galaxy) என்பது ஈர்ப்பு விசையினால் ஒன்றுக்கொன்று பிணைக்கப்பட்ட விண்மீன்களின் மிகப் பெரிய கூட்டமைப்பாகும். அண்டத்தில் இந்த கோள்மண்டலத்தின் அடர்த்தியானது எல்லாத் திசைகளிலும் சீரான முறையில் பரவியுள்ளது என்பது நமக்குத் தெரிந்த கருத்தாகும். இச்சீரான கோள்மண்டலத்தின் அமைப்பைத்தான் சீர் வெளி என்கின்றோம். மேலும் இந்தக் கோள்மண்டலங்கள் நம்மைச் சுற்றி எல்லாத் திசைகளிலும் சீரான முறையில் பரவியுள்ளது மட்டுமில்லாமல், நம்மைவிட்டு எல்லாத் திசைகளிலும் சீரான வேகத்தில் விலகியும் செல்கின்றன.

176 சமநிலைக் கொள்கை (Principle of equivalence)

ஈர்ப்பியலைப் பற்றிய சார்பியல் கொள்கையின் சிக்கல் ஒன்றை விளக்குவதற்காக சமநிலைக் கொள்கை என்ற புரட்சிகரமான கருத்தை ஐன்ஸ்டீன் வெளியிட்டார். இக்கொள்கையின்படி, ஈர்ப்புப் புலத்தில் நிகழும் விளைவுகளும், ஈர்ப்பு ஆற்றலற்ற வெளியில் இயங்கும் மேற்கோள் தொகுதியில் சீரான முடுக்கத்தால் ஏற்படும் தோற்றப்பாடுகளின் விளைவுகளும் ஒன்றாகவே அமையும். மேற்கூறிய தொகுதியின் முடுக்கமானது ஈர்ப்புப் புலத்தின்கண் உள்ள முடுக்கத்திற்குச் சமமாகவும், ஆனால் நேர் எதிராகவும் இயங்கும். இக்கொள்கையின் விளைவுகளுள் ஒன்று: ஒளியானது ஒரு பொருளை விட்டு நீங்கும்பொழுது ஒளியின் நிலைநிறை மீது அப்பொருள் செயற்படுத்தும் ஈர்ப்பு விசையை வெற்றி கொள்வதில் ஆற்றலை இழக்கிறது என்பதாகும். ஒளியானது ஆற்றலை இழக்கும்பொழுது அதன் அலைநீளம் அதிகமாகிறது. இவ்விளைவு ஈர்ப்பியல் செந்நிறப்பெயர்ச்சி (gravitational red shift) எனப்படும். சூரியன் மற்றும் எடைமிக்க விண்மீன்களின் நிறமாலைக்கோடுகளில் அத்தகைய பெயர்ச்சி காணப்படுகிறது. படிகத்தில் பதிக்கப்பட்ட கதிரியக்க அணுக்களிலிருந்து வெளிவிடப்படும் புரோட்டான்களின் உதவியால் மேலே குறிப்பிட்ட நிறமாலைப் பெயர்ச்சியை மிகவும் துல்லியமான அளவு நுட்பத்துடன் எடுக்க படித்தரங்கள் (frequency standards) அமைக்கப்பட்டன. அத்தகைய துல்லியமான அடுக்கங்களை அளிக்கவல்ல நிகழ்ச்சி மாஸ்பயர் விளைவு எனப்படும்.

177 சராசரி அல்லது எதிர்பார்ப்பு மதிப்பீடு (Expectation value)

ஓர் இயக்கவியல் அளவின் (dynamical quantity) சராசரி அல்லது எதிர்பார்ப்பு மதிப்பீட்டை ஓர் அளவீட்டுத் பயனின் கணிதவியல் எதிர்பார்ப்பு (mathematical expectation) என்று கூறலாம். அதை வெவ்வேறு சாராத (independant) அமைப்புகளின் அளவீட்டுப் பயன்களின் சராசரி மூலமாகவும் வரையறுக்கலாம். அதாவது (ψ) என்ற அலைச் சார்பத்தால் (wave function) குறிப்பிடப்படுகின்ற நிலையைக் கொண்டு $\hat{A}$ என்ற இயக்க மாறியின் (dynamical variable) மதிப்பை ஒவ்வொரு முறையும் அளந்தால், அவற்றின் சராசரி மதிப்பை $\hat{A}$-யின் எதிர்பார்ப்பு மதிப்பீடு என்று கூறலாம். அதைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டின் மூலம் விவரிக்கலாம்.

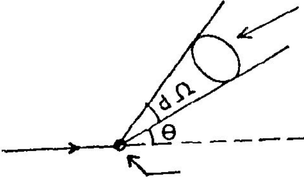
$$\langle A \rangle = \int \psi^* \hat{A} \psi \, d\tau$$

இச்சமன்பாட்டில் * என்பது சிக்கல் எண் பரிமாற்றத்தையும் (complex conjugate), $d\tau$ என்பது கன அளவையும் குறிக்கும். சமன்பாட்டின் இடப்புறம் உள்ள < > என்ற அடையாளம் சராசரியைக் குறிப்பதாகும். பழமை எந்திரவியல் (classical mechanics) கொள்கையின்படி எந்த ஒரு மாறியின் தனித்த மதிப்பையும் சரியாக அளக்க முடியும். ஆனால் குவாண்டம் எந்திரவியலில் ஒரு நிலையை ψ-ஐக் கொண்டு வரையறுக்கப்படும் பொழுது, ψ என்பது அந்தத்துகள் அல்லது அமைப்பின் நிகழ்தகவைத்தான் (probability)

குறிக்கும். இங்கு நோக்கல் அல்லது அளவீடுகளே அந்த அமைப்பின் நிலையை மாற்றும். எனவே ஒரு அமைப்பிற்கான அளவின் அடுத்தடுத்த அளவீடுகள் ஒரே மாதிரியாக இருக்காது. ஆகவே நாம் பழமை எந்திரவியலில் உள்ளவாறு குவாண்டம் எந்திரவியலில் எந்த ஒரு அளவுக்கும் தனித்த அல்லது சார்பில்லா (absolute) மதிப்பு பெற முடியாது. சுருங்கக் கூறின் குவாண்டம் எந்திரவியலில் சராசரி அல்லது எதிர்பார்ப்பு மதிப்பீடு (expectation value) பழமை எந்திரவியலில் உள்ள தனித்த அல்லது சார்பில்லா (absolute value) மதிப்புக்குச் சமம்.

178 சிதறல் நீளம் (Scattering Length)

குறிக்கப்பட்ட உந்தம் உள்ள இணைக்கற்றையான துகள்கள் ஓர் இலக்கை நோக்கிச செல்லும்போது அந்த இலக்கினால் பல திசைகளுக்கும் விலக்கிவிடப்படும் செய்முறையைச் சிதறல் (Scattering) என்கிறோம். சிதறப்பட்ட துகள்கள் பல திசைகளிலும் பிரிந்து, விரிந்து செல்லுகின்றன. இவ்வாறு சிதறல் நிகழ்ச்சியில் ஈடுபட்டுள்ள துகள்களைக் குவாண்டம் இயற்பியல் பொருட்களாகக் கருதும்போது அவற்றை அலைச் சார்பம் (wave function) மூலம் குறிக்கலாம். எல்லா நேரங்களிலும் ஒரே சீரான படுகதிர் துகள்கள் செல்லுமானால் இந்த அலைச் சார்பம் நிலையானதாக இருக்கும். இந்தச்சிதறல் செய்முறையை அல்லது நிகழ்ச்சியை, நிலையான அலைச் சார்பத்தில் சிதறல் மையம் ஏற்படுத்தும் மாறுதல் மூலமாகவும் வருணிக்கலாம். சிதறல் வீச்சு (scattering amplitude) மற்றும் படுதன்மை சிதறல் வெட்டுமுகம் (differential scattering cross section) ஆகிய இரண்டு பண்புகளும்தான் எந்த ஒரு சிதறல் நிகழ்ச்சியையும் வரையறுக்க முக்கியமாகப் பயன்படுபவை. சிதறல் வீச்சு f(θ) சிதறிய அலைத்துகள்களின் கோணப்பங்கீட்டை விவரிக்கும். படுதன்மை சிதறல் வெட்டுமுகத்தை ($\sigma(\theta)d\Omega$) கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டைக் கொண்டு எழுதலாம்.



படுதன்மை சிதறல் வெட்டுமுகம் ($\sigma(\theta)d\Omega$) = $\dfrac{\text{θ என்ற கோணத்தில் dΩ என்ற கோணப் பங்கீட்டிற்குள் சிதறடிக்கப்பட்ட துகள்களின் எண்ணிக்கை}}{\text{ஒரு சதுர செ.மீ. சிதறல் மையத்தில் படும் துகள்களின் எண்ணிக்கை}}$

குறைவாற்றல் சிதறலின் போது, சிதறல் வீச்சை கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டின் மூலம் தெரிவிக்கலாம்.

$$\text{சிதறல் வீச்சு } f(\theta) = \frac{1}{K} e^{i\delta_0} \sin\delta_0 \qquad (1)$$

K, அலைத் திசையி, δ_0, கட்டப்பெயர்ச்சி (phase shift). துகள்களின் ஆற்றல் (E) மிக மிகக் குறைவாக இருந்தால் அதன் மதிப்பு சுழியை நெருங்கும் போது எதிர் சிதறல் வீச்சை (-f(θ)) சிதறல் நீளம் a (scatteringlength) என்று அழைக்கிறோம். இதைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டைக் கொண்டு எழுதலாம்.

$$\text{சிதறல் நீளம் } a = -\lim_{K\to 0} f(\theta) \qquad (2)$$

சிதறல் நிகழ்ச்சியின் போது உள்வினை மிகவும் குறைவாக இருந்து கட்டப்பெயர்ச்சி குறைவாக இருந்தால் சமன்பாடு (1) லிருந்து சிதறல் நீளத்தைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டின் மூலம் தெரிவிக்கலாம்.

$$\text{சிதறல் நீளம் } a = -\lim_{K\to 0} \frac{\delta_0}{K}.$$

179 சிறப்புச் சார்பியல் கொள்கையின் எடுகோள்கள் (Postulates of special theory of relativity)

சிறப்புச் சார்பியல் கொள்கை இரண்டு எடுகோள்களின்மேல் அமைந்துள்ளது. அவை:

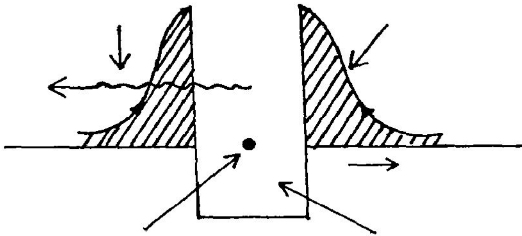
1. எல்லா நிலைம ஒப்பிடு தளங்களிலும் (Inertial reference frames) இயற்பியல் விதிகள் ஒன்றுதான்;

2. எல்லா நிலைம ஒப்பிடு தளங்களிலும் ஒளியின் வெற்றிடத் திசைவேகம் ஒன்றுதான்.

முதலாவது எடுகோள், கலிலியோவின் சார்பியல் தத்துவத்தின் விரிவாக்கமாகும். எல்லா ஒப்பிடு தளங்களிலும் இயக்கவியல் விதிகள் ஒன்றுதான் என்பது கலிலியோவின சார்பியல் தத்துவமாகும். இயக்கவியல் விதிகள் மட்டுமல்ல, இயற்பியலின் அனைத்து விதிகளும் எல்லா ஒப்பிடுதளங்களிலும் ஒன்றுதான் என்பதை இந்த எடுகோள் வலியுறுத்துகிறது. ஒளியின் திசைவேகத்தைப் பற்றிய இரண்டாவது எடுகோளுக்கு அடித்தளமாக இருப்பது மேக்ஸ்வெல்லின் மின்காந்தக் கொள்கையாகும்.

180 சுரங்கப் பாதை விளைவு (Tunnel effect)

ஓர் ஆல்பா துகள் ஓர் அணுக்கருவினுள் இருக்கும்போது அணுக்கருவைச் சுற்றியுள்ள எதிர்ப்பு மின்னழுத்தம் ஒரு தடுப்பு அரணாகச் சித்தரிக்கப்படுகிறது. அரணுக்கு உள்ளே உள்ள இடம் (அணுக்கரு) ஒரு மின்னழுத்தக் கிணறாகக் கருதப் படுகிறது. அணுக்கருவிலுள்ள ஆல்பா துகள் இந்தக் கிணற்றினுள் இருந்து வெளிவர வேண்டுமானால் மின்னழுத்த அரணை ஏறிக் கடந்தாக வேண்டும் என்பது பழங்கொள்கை. ஆனால் குவாண்டம் கொள்கைப்படி துகளுக்கு அலைப் பண்பு இருப்பதால் இந்த அலைக்கு மின்னழுத்த அரணை ஊடுருவிச் செல்லும் சாத்தியக்கூறு உண்டு. இவ்வாறு மின்னழுத்த அரணை ஆல்பா துகள் அலைவடிவில் ஊடுருவிக் கடப்பதை சுரங்கப் பாதை விளைவு என்கிறோம். ஓர் இரயில் பாதையை அமைக்கும்போது குன்றுகள் குறுக்கிட்டால் அவற்றைக் குடைந்து சுரங்கப் பாதைகள் (Tunnels) அமைப்பது வழக்கம்.



181 டிராக் சமன்பாடு (Dirac's equation)

1928-ஆம் ஆண்டில் திசைவேக ஒப்புமைத் தத்துவத்தைப் பயன்படுத்தி டிராக் ஒரு துகளுக்கான சமன்பாட்டை நிறுவினார்.

$$\left(\frac{ih}{2\pi}\right)\frac{\partial\psi}{\partial t} = (c\,\vec{\alpha}.\vec{p} + \beta mc^2)\psi$$

என்ற சமன்பாடு டிராக் சமன்பாடு எனப்படும். இச்சமன்பாட்டில் $\vec{\alpha}$, β என்பன டிராக் அணிகளாகும் (matrices). m, $\vec{p}$ என்பன துகளின் நிறையையும், உந்தத்தையும் முறையே குறிக்கும்; c என்பது ஒளியின் திசைவேகம்; ψ துகளின் அலைச் சார்பு. இச்சமன்பாட்டின் தீர்வு மூலம் எலக்ட்ரானின் தற்சுழற்சியையும், எதிர்குறி ஆற்றல் நிலையையும், எலக்ட்ரானின் எதிர்துகளான பாசிட்ரானையும் அவரால் விளக்க முடிந்தது.

182 டென்சர் புலம் (Tensor field)

கொடுக்கப்பட்ட ஓரிடத்தில் ஒரு டென்சரானது இடநிலையின் (position) சார்பமாக (function) இருக்குமானால் அதனை டென்சர் புலம் என்கிறோம். டென்சர் புலமானது நிலையைக் குறிப்பிட உதவும் சார்புகளின் ஒரு கூட்டமைப்பாகும். அதாவது, டென்சர் கூறுகள் (components) அனைத்தும் இடநிலையைச் சார்ந்திருக்கின்றன. பருப்பொருட் பண்புகள், மற்றும் தொடர் ஊடகங்களின் நிலையைக் குறிக்க உதவும் சமன்பாடுகள் போன்றவற்றை டென்சர் புலங்களால் குறிப்பிடலாம். டென்சர் புலத்தை

$$a_{i_1, i_2, \ldots, i_n}(x_j)$$

எனும் குறியீட்டால் குறிப்பிடலாம். இங்கு x_j என்பது இடத்தைக் குறிப்பிடும் ஆயத் தொலைவாகும். ஒரு டென்சர் புலம் நேரத்தைப் பொறுத்தும் அமையுமானால் அதை ஒரியல்பற்ற (unsteady) டென்சர் எனலாம். கொடுக்கப்பட்ட டென்சர் ஒன்றின் தரம் (rank) சுழி அல்லது ஒன்று என இருந்தால் அதை முறையே திசையிலி (scalar) புலம், என்றும் திசையி (vector) புலம் என்றும் குறிப்பிடுகிறோம்.

183 டேக்யான்கள் (Tachyons)

ஒளியைவிடத் திசைவேகம் கொண்ட துகள்கள் எனக் கருதப்படுபவை இவை. இயற்பியலின் கோட்பாடுகளின்படி, தெரிசெய்தி ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோரிடத்திற்கு குழூஉக்குறி வழி அனுப்பப்படுகிறது. இதில் மின்காந்த அலை, மிக வேகமான தொடர்பு குழூஉக்குறியாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஒளி மிக வேகமாக (3×10^8 மீ /வினாடி) செல்வது. இந்த அண்டத்திலுள்ள எந்த ஒரு பொருளும் ஒளியின் வேகத்தைவிட அதிகமான வேகத்துடன் செல்ல இயலாது என்ற ஐன்ஸ்டினின் தற்கோளின் அடிப்படையில்தான் இயற்பியல் கோட்பாடுகள் அனைத்தும் வரையறுக்கப்பட்டுள்ளன. ஆயினும், ஒளியின் வேகத்தைவிட அதிகமான வேகத்துடன் செல்லக்கூடிய டேக்யான்கள் என்னும் கற்பனைத் துகள்கள் இருப்பதற்கான சாத்தியக்கூறுகளை, சார்பியல் கொள்கையின் நீட்டிப்பு மூலம் ஆய்வு செய்யமுடியும். சார்பியல் கொள்கையில் டேக்யான்களுக்கு கற்பனை (imaginary) ஓய்வுப் பொருண்மை இருப்பதாகக் கருதப்படுகிறது. எனினும், கற்பனை ஓய்வுப் பொருண்மை என்பதன் பொருள் என்ன? டேக்யான்கள் மற்றும் இயல்புத் துகள்களுக்கு இடையே நிகழும் விசைகளின் பண்புகள் என்ன? இவை பற்றிய முடிவான கருத்துக்கள் இன்னும் உருவாகவில்லை.

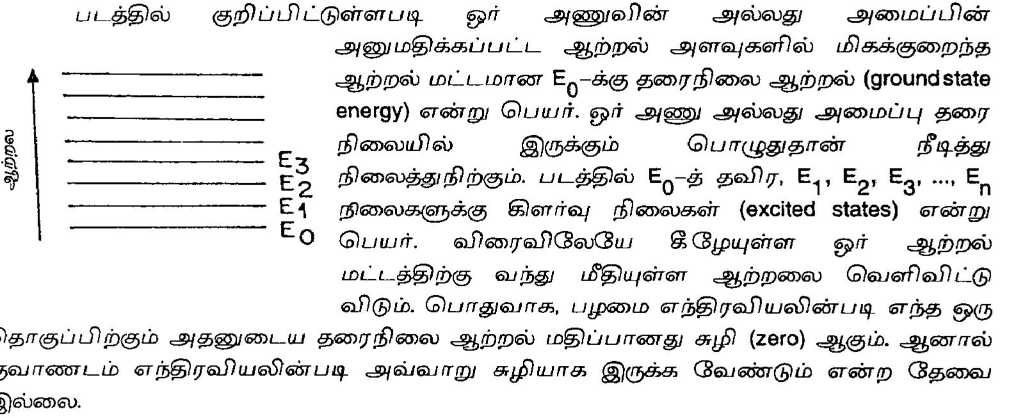
184 தகுந்த நேர இடைவெளி (Proper time interval)

சார்பியலில் ஒரு தளத்தில் பார்க்கப்படும் பொருளானது ஓய்வான நிலையில் இருந்தால் அந்த தளத்தை தக்க தளம் (proper frame) என அழைப்பது வழக்கம். அத்தகைய தளத்தில் உள்ள தண்டு (rod) ஒன்றின் நீளத்தைத் தக்க நீளம் (proper length) என்று கூறலாம். அதேபோல, தகுந்த நேர இடைவெளி என்பது பார்வையிடப்படும் பொருள் ஒன்றினுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள கடிகாரத்தின் மூலம் அளவிடப்படும் நேர இடைவெளியே ஆகும். மற்றொரு விதத்தில் சொல்ல வேண்டுமானால், தகுந்த நேர இடைவெளி என்பதை, ஒரு தளத்தில் ஒரே இடத்தில் நிகழும் இரண்டு நிகழ்ச்சிகளுக்கு இடையேயான நேர இடைவெளி என்றோ, ஒரே இடத்தில் ஒரே கடிகாரத்தினால் அளக்கப்படும் நேர இடைவெளி என்றோ குறிப்பிடலாம். இருவேறு இடங்களில், இருவேறு கடிகாரங்களினால் அளக்கப்படும் நேர இடைவெளியைத் தகாத நேர இடைவெளி என்கிறோம். ஆனால் லாரன்ஸின் மாற்று விதிச் சமன்பாடுகளின்படி, தக்க நேர இடைவெளி ($d\tau$), தகாத நேர இடைவெளி (dt) ஆகியவற்றைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாடு மூலம் தொடர்பு படுத்தலாம்.

$$dt = \frac{d\tau}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}.$$

185 **தரைநிலை ஆற்றல்** (Ground state energy)

குவாண்டம் இயற்பியலின்படி, நிலையாக இருக்கக்கூடிய ஓர் அணுவிற்கு குறிப்பிட்ட ஆற்றல் மட்டங்கள்தான் இருக்கமுடியும். ஆற்றல் மட்டங்களை (Energy levels) கீழ்க் கண்டவாறு படத்தில் குறிப்பிடலாம். படத்தில் ஆற்றல் அளவுகள் செங்குத்தாகவும், அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் மட்டங்கள் (E_0, E_1, E_2, ..., E_n) இடைக்கோடுகளாலும் வரையப்பட்டுள்ளன.



படத்தில் குறிப்பிட்டுள்ளபடி ஓர் அணுவின் அல்லது அமைப்பின் அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் அளவுகளில் மிகக்குறைந்த ஆற்றல் மட்டமான E_0–க்கு தரைநிலை ஆற்றல் (ground state energy) என்று பெயர். ஓர் அணு அல்லது அமைப்பு தரை நிலையில் இருக்கும் பொழுதுதான் நீடித்து நிலைத்துநிற்கும். படத்தில் E_0–த் தவிர, E_1, E_2, E_3, ..., E_n நிலைகளுக்கு கிளர்வு நிலைகள் (excited states) என்று பெயர். விரைவிலேயே கீழேயுள்ள ஓர் ஆற்றல் மட்டத்திற்கு வந்து மீதியுள்ள ஆற்றலை வெளிவிட்டு விடும். பொதுவாக, பழமை எந்திரவியலின்படி எந்த ஒரு தொகுப்பிற்கும் அதனுடைய தரைநிலை ஆற்றல் மதிப்பானது சுழி (zero) ஆகும். ஆனால் குவாண்டம் எந்திரவியலின்படி அவ்வாறு சுழியாக இருக்க வேண்டும் என்ற தேவை இல்லை.

186 **தவிர்க்கைத் தத்துவம்** (Exclusion principle)

அநேகமாக எல்லா மூலத்துகள்களும் தற்சுழற்சி இயக்கம் கொண்டவை. ஆகவே இவவகையான மூலத்துகள்களைக் கூடுதலாகத் தற்சுழற்சிக் குவாண்டம் எண் (spin quantum number) மூலமாக வரையறுக்கலாம். எலக்ட்ரான், புரோட்டான், நியூட்ரான் போன்ற அடிப்படைத் துகள்கள் அரை எண் (half-integer) தற்சுழற்சி கொண்டு வரையறுக்கப்படும். இவற்றிற்கு பெர்மியான்கள் (Fermions)என்று பெயர். ஆனால், பையான் (pion), போட்டான் (photon) போன்றவைகள் முழு எண் தற்சுழற்சி கொண்டு வரையறுக்கப்படும். இவற்றிற்குப் போசான்கள் (Bosons) என்று பெயர்.

எந்த இரண்டு பெர்மியான்களும் ஒரே துகள் நிலையை (state) கொண்டிருக்க முடியாது அல்லது எந்த இரண்டு அடிப்படைத் துகள்களுக்கும் எல்லாக் குவாண்டம் எணகளும் ஒரே மதிப்பாக இருக்க முடியாது. குறைந்த அளவில் ஒரு குவாண்டம் எண்ணாவது மாறுபட்டு இருக்கும். எனவே ஒரு துகள் நிலையை ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட துகள்கள் பெற்றுக் கொள்ள முடியாது. மேற்கூறிய விதிக்கு பவுலியின் தவிர்க்கை விதி என்று பெயர். தவிர்க்கை விதியானது வருவிக்கப்படாது, மற்ற விதிகளோடு சம்பந்தப்படுத்தப்படக்கூடிய இயற்கையின் ஒரு பட்டறிவு விதியாகும். விளக்கமாகக் கூறப்போனால் ஒவ்வொரு நிலையும் ஒரு குழு (set) குவாணடம் எண்களால் வரையறுக்கபபடுகிறது. காட்டாக, அணுவில் உள்ள ஒவ்வோர் எலக்ட்ரானும் நான்கு விதமான குவாண்டம் எண்களால் வரையறுக்கப்படும். அவை 1. முதன்மைக் குவாண்டம் எண் (n), 2. சுற்றோட்டக் குவாண்டம் எண் (l), 3. காந்த சுற்றோட்டக் குவாண்டம் எண் (m_l), 4. காந்த தற்சுழற்சிக் குவாண்டம் எண் (m_s). பவுலியின் தவிர்க்கை விதி மூலமாக அணுவில் உள்ள ஒவ்வொரு சுற்றுத் தடத்திலும், இடைச் சுற்றுத் தடத்திலும் (subshell) எத்தனை எலக்ட்ரான்கள் இருக்கும் என்பதைக் கண்டு பிடிக்க முடியும். காட்டாக, k-இடைச்சுற்றுத் தடத்திற்கான குவாண்டம் எண்கள்:

$$n = 1,\ l = 0,\ m_l = 0,\ m_s = +(1/2), -(1/2).$$

எனவே k- இடைச்சுற்றுத் தடத்தில் இரண்டு எலக்ட்ரான்கள்தான் தங்க முடியும்.

எலக்ட்ரான் 1: குவாண்டம் எண்கள் $n=1$, $l=0$, $m_l=0$, $m_s=1/2$
எலக்ட்ரான் 2: குவாண்டம் எண்கள் $n=1$, $l=0$, $m_l=0$, $m_s=-1/2$

எனவே மூன்றாவது ஓர் எலக்ட்ரான் இருக்குமானால் அதன் குவாண்டம் எண்கள் முதலாவது அல்லது இரண்டாவது எலக்ட்ரானோடு ஒத்தவையாகத்தான் இருக்க முடியுமே தவிர வேறுபட்டு இருக்க முடியாது. மேற்கூறிய விதியின்படி இதற்கு அனுமதி இல்லை.

187 **தற்சுழற்சி – சுற்றுப்பாதைப் பிணைப்பு** (Spin orbit coupling)

எலக்ட்ரானின் பாதைச் சுற்றினால் ஏற்படும் காந்தப்புலனும், அதன் தற்சுழற்சியினால் ஏற்படும் காந்தத் திருப்புதிறனும் (magnetic dipole moment) செயலெதிர் செயற்படுவதால் ஏற்படும் விளைவு. இதன் விளைவாக அணுவின் நிறைமாலையில் நுண்வரி இரட்டைகள் (fine structure doublets) தோன்றும். இதை ஓர் உள்–சீமன் விளைவு (internal - Zeeman effect) எனலாம். ஓர் எலக்ட்ரான் அணுக்கருவைச் சுற்றுவதை, அணுக்கரு அந்த எலக்ட்ரானைச் சுற்றுவதற்குச் சமம் எனக் கருதலாம். ஆகவே, அணுக்கரு ஒரு காந்தப்புலம் சுழற்சியைத் தோற்றுவிக்கிறது. எலக்ட்ரானின் தற்சுழற்சியினால் ஏற்படும் காந்தத் திருப்புதிறன் இதனுடன் செயலெதிர் செயற்பட்டு ஒரு காந்த ஆற்றலை (V_m) தருகிறது:

$$V_m = \pm \frac{eh}{2m} B$$

எனக்கணக்கிடலாம். ஆகவே எலக்ட்ரானின் ஆற்றல் மட்டம் $E_0+(eh/2m)B$, $E_0-(eh/2m)B$ ஆக மாறுபடுகிறது. B -ன் மதிப்பு சுமார் 0.4e (Tesla) ஆகும். எனவே (eh/2m) B-மதிப்பு 2.3×10^{-5} e.V ஆகும். ஒவ்வொரு குவாண்டம் ஆற்றல் மட்டமும் (S- மட்டம் தவிர்த்து) இரு மட்டங்களாகப் பிரிந்து இரு நுண்வரி நிறமாலையைத் தருவது தற்சுழற்சி – சுற்றுப்பாதைப் பிணைப்பின் விளைவாகும்.

188 **திசையியின் படிவம்** (Norm of a vector)

ஒரு திசையியின் படிவம் அதன் திசையிலியின் பெருக்கத்தின் (scalar product) இருமடி மூலத்திற்குச் சமம்.

படிவம் $(\vec{x}) = (\vec{x},\vec{x})^{1/2}$. x, y என்ற இரு திசையிகளின் இடைதூரம்

$$\| \vec{x}-\vec{y} \| \equiv [(\vec{x}-\vec{y}), (\vec{x}-\vec{y})]^{1/2}$$

எனக் குறிப்பிடலாம். ஆகவே

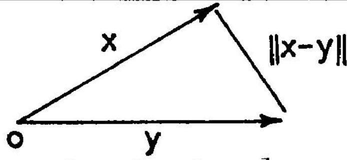
$$\| \vec{x}-\vec{x} \| = 0$$

x-ன் படிவம் என்பது அதன் தொடக்கத்திலிருந்து அதன் தொலைவு (சுழி திசையிலிருந்து அதன் தொலைவு என்றும் கொள்ளலாம்).

$$\text{படிவம்} \quad \|(\vec{x})\| = \| x \vec{-} o \|^{\prime} = ((\vec{x}-\vec{0}), (\vec{x}-\vec{0}))^{1/2}$$
$$= (\vec{x},\vec{x})^{1/2}$$

$(\vec{x},\vec{x})^{1/2} \geq 0$ என்பது திசையிலி பெருக்கத்தின் ஒரு பண்பாகும்.

டிராக்கின் குறியீட்டு முறைப்படி, (Dirac's representation). பொருளின் இயற்பியல் நிலையை $|\psi>$ என்ற திசையியாகக் (ket) கருதலாம் $<\psi|$ என்ற திசையி (bra) திசையிவெளியில்



அதன் துணையிய திசையியாகக் (conjugate in the ket vectorspace) கொண்டால், $\langle\psi|\psi\rangle$ என்ற எதிர் குறியற்ற இயல்பு (non-negative, real number) எண், $\langle\psi|\psi\rangle \geq 0$ எனக் குறிப்பிடலாம். $\langle\psi|\psi\rangle^{1/2}$ இத்திசையியின் படிவம் எனப்படும். $\langle\psi|\psi\rangle = 1$ என்றால் திசையி படிவமைக்கப்பட்டது (normalised) என்று பொருள். படிவம் சுழி என்றால், அதன் இயற்பியல் நிலையும் சுழியாகும். எனவே இயற்பியல் நிலைகளை; திசையி-வெளியில் குறிப்பிடும்போது படிவத்தின் மதிப்பே அந்த நிலையின் ஒப்பு மதிப்பாகும்.

189 ***திண்ணமிலாக் கொள்கை*** (Uncertainity principle)

அலைக் கொள்கைப்படி கட்புலனாகும் அளவுடைப் பண்பு ஒன்றை (observable quantity) திண்ணமாக அளவிடும் அதேநேரத்தில் அதன் உடனியைவு (conjugate) அளவுடைப் பண்பு ஒன்றை அளவிடுவதில் ஏற்படும் திண்ணமில்லாமையைக் குறிக்கும் கோட்பாடு. ஓர் இயங்கும் பொருள், டீ பிராக்ளி அலைத் தொகுதியாகக் கருதப்படுவதால் குறிப்பிட்ட பொருளின் இடமும் (position) அதன் உடனியைவு உந்தமும் (momentum) எதிரிடை உறவைப் பெறுகின்றன. அலைத் தொகுதி (wave packet) என்பது குறிப்பிட்ட இட விரிவும், (Δx) அலை எண்ணும் (wave number) Δk கொண்டது. Δx-ம் Δk-‘ அலை உருவின் படித்தர விலக்கங்கள் (standard deviations) எனக் கொண்டால் $\Delta x\,\Delta k$-ன் மீச்சிறு மதிப்பு 1/2 ஆகும். அதாவது $\Delta x.\Delta k \geq \frac{1}{2}$. மேலும், $\Delta k = \frac{2\pi\Delta p}{h}$. ஆகவே

$$\Delta x.\Delta p \geq \frac{1}{2}(h/2\pi)$$

மேற்கண்ட சமன் ஹெய்சன்பெர்க் என்பவரால் 1927–ல் கண்டறியப்பட்டது. இதன்படி இரு உடனியைவு அளவுடை பண்புகள் ஒரே நேரத்தில் அளவிடப்படுமானால், அளவின் திண்ணமில்லாத் தன்மை பெருக்கல் $\Delta x.\Delta p \geq (1/2)(h/2\pi)$ எனக் குறிக்கலாம். பொருளின் ஆற்றல் E என்றும், நேரம் t என்றும் கொண்டால், $\Delta E, \Delta t$ இவை இரண்டும் உடனியைவு அளவுடைப் பண்புகள். எனவே, $\Delta E.\Delta t \geq (1/2)(h/2\pi)$.

190 ***தூண்டப்பட்ட உமிழ்வு கதிர்*** (Stimulated emission)

உயர் ஆற்றல் மட்டத்தில் இருக்கும் ஓர் அணுவின்மீது மின்காந்தப் புல ஒளித்துடிப்பு (light pulse) விழுவதால் அணுவானது குறைந்த ஆற்றல் மட்டத்திற்கு இறங்கும்போது தூண்டப்பட்ட கதிர் உமிழப்படுகிறது. இவ்வாறு உமிழப்படும் மிகை ஆற்றல் மின் காந்தப்புலத்திற்கு மாற்றப்படுகிறது. வெளிப்படும் ஒளிக்கதிரின் அதிர்வெண் இரு மட்டங்களுக்கும் இடையே உள்ள ஆற்றல் மாறுபாட்டிற்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும்.

191 ***தெரிவு விதிகள்*** (Selection rules)

குவாண்டம் இயற்பியல் அமைப்பில் இரு ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையே எலக்ட்ரான்கள் இடப்பெயர்வு கொள்ள, பொதுப்படைத் தெரிவு விதிகள் உள்ளன. இவ்விதிகள், மட்டங்களின் செவ்வொழுங்குப் பண்புகளையும் புடைபெயர்வு தரும் செயலெதிர் செயல் தன்மையையும் பொறுத்திருக்கும். குவாண்டம் கொள்கைப்படி, கிளர்ச்சியுற்ற அணு ஒன்று, ஒளிக்கதிர்களை உமிழ $\int_{-\infty} \psi_m^* \psi_n dx$ மதிப்புசுழியாக இருத்தல் கூடாது. (மின் இருமுனை X-அச்சுக்கு இணையாக இருப்பதாக இங்கு கொள்ளப்படுகிறது). குறிப்பாக, ஹைட்ரஜன் அணுவின் தொடக்க நிலை அலை சார்பு $\psi_{n',l',m'}$ என்றும், முடிவு நிலை அலை சார்பு ψ_{nlm} என்றும் கொண்டால், இவ்விரு ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையே புடைபெயர்வுக்குரிய விதியை பின்வருமாறு குறிக்கலாம்.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi_{n,l,m}{}^{*} \psi_{n',l',m'} dx \neq 0 \qquad (1)$$

n, n'-முதன்மைக் குவாண்டம் எண்; l,l'-கோண உந்தக் குவாண்டம் எண்; m, m'-காந்தக் குவாண்டம் எண். ஹைட்ரஜன் அலை உருவில் இவற்றின் மதிப்புக் கொண்டு கணக்கிட்டால்

$$l - l' = \Delta l = \pm 1 \qquad (2)$$

$$m - m' = \Delta m = 0, \pm 1 \qquad (3)$$

ஆக இருந்தால் மட்டுமே இதன் மதிப்பு சுழி ஆகாது. சமன் (2)-ம், சமன் (3)-ம் தெரிவு விதிகள் எனப்படும்.

இதுபோன்றே அணுக்கருவின் ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையே துகள்கள் புடைபெயர்வுக்குரிய தெரிவு விதிகள் ஃபெர்மி தெரிவு விதி (Fermi selection rule), ஃபெர்மி டெல்லர் தெரிவு விதி (Fermi Teller selection rule) எனப்படுகின்றன.

சீமன் விளைவு (Zeeman effect), பாஷன்-பாக் விளைவு (Paschen-back effect), ஸ்டார்க் விளைவு (Stark effect), இராமன் விளைவு (Raman effect) போன்ற இயற்பியல் விளைவுகளுக்கும் தனித்தனித் தெரிவு விதிகள் உண்டு. பொதுவாக, மொத்தக் கோண உந்த மாற்றம் (Δj), காந்த உந்த மாற்றம் (Δm) ஆகியவற்றைக் கொண்டு தெரிவு விதிகள் நிர்ணயிக்கப்படுகின்றன.

192 **நிலைம ஒப்பிடு தளம்** (Inertial reference frame)

புறவிசை ஒன்று செயற்படாதவரை, ஓர் ஒப்பிடு தளத்திலுள்ள நகரும் பொருட்கள் அதனதன் சீரான வேகத்துடன் தொடர்ந்து நகர்ந்து கொண்டும், ஓய்வு நிலையிலுள்ள பொருட்கள் தொடர்ந்து அந்நிலையிலும் இருக்குமேயானால், அந்த ஒப்பிடு தளம், நிலைம ஒப்பிடு தளம் எனக் கருதப்படுகிறது. சுருங்கக் கூறின், நிலைம ஒப்பிடு தளத்தில், நியூட்டனின் முதலாவது இயக்க விதி செயற்படுகிறது.

இரண்டு ஒப்பிடு தளங்களுக்கு இடையே சீரான சார்புத் திசைவேகம் இருக்கும்போது, அவையிரண்டுமே நிலைம ஒப்பிடுதளங்கள்தாம்.

எல்லா நிலைம ஒப்பிடு தளங்களிலும், இயற்பியல் விதிகள் ஒரே மாதிரியாகத்தான் இருக்கும். இக்கூற்று, ஐன்ஸ்டீனின் சிறப்புச் சார்பியல் கொள்கையின் ஓர் எடுகோளாக அமைகிறது.

193 **நிலைமமற்ற ஒப்பிடு தளம்** (Non-inertial reference frame)

முடுக்கத்துடன் இயங்குகிற ஓர் ஒப்பிடு தளம் (reference frame) நிலைமமற்ற ஒப்பிடு தளம் எனப்படுகிறது. நிலைமமற்ற ஒப்பிடு தளத்தில் நியூட்டனின் முதலாவது இயக்கவிதி ஏற்புடைத்தாயில்லை. நிலைமமற்ற ஒப்பிடு தளத்தைக் கொண்டு ஈர்ப்பு விசையை உருவாக்கவோ அல்லது உருக்குலைக்கவோ முடியும். நிலைமமற்ற ஒப்பிடு தளத்தைப் பொறுத்து, வெளி வளைந்து விடுவதால், அவ்வெளியில் ஈக்ளூடியன் தேற்றங்கள் செல்லுபடியாவதில்லை. மாறாக, அங்கு கணிதமேதை ரீமான் கண்டறிந்த 'ரீமான் வடிவமைப்பு' செயற்படுகிறது. நிலைமமற்ற ஒப்பிடு தளத்தைப் பொறுத்து, வெளியைப் போன்று, காலமும் வளைந்து விடுவதாகக் கருதப்படுகிறது.

194 **நிலைம நிறை** (Inertial mass)

பொருட்களின் அகப்பண்புகளையும் அக ஆற்றலையும் விளக்குவதற்குப் பயன்படுத்தப்படும் உருவகம். இது ஓய்வு நிறை (rest mass) என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.

ஒரு துகளின் அகநிறை m_0 எனக் கொள்வோம். நியூட்டனின் இரண்டாவது விதிப்படி இத்துகளின் இயக்கத்தைப் பின்வருமாறு வரையறுக்கலாம்:

$$m_0 \frac{dv}{dt} = F \qquad (1)$$

இங்கு dv/dt துகளின் முடுக்கம், F துகள்மீது செலுத்தப்படும் விசை; துகளின் வேகம் ஒளியின் வேகத்தை நெருங்கும்பொழுது, விசை பின்வரும் மாற்றத்தைப் பெறுகின்றது:

$$F = \frac{d}{dt}\left(\frac{m_0 v}{1-(v^2/c^2)}\right) \qquad (2)$$

இங்கு C ஒளியின் திசைவேகம். சமன்பாடுகள் (1)-ம் (2)-ம் துகள்களின் அகநிறை விசைக்கு உட்பட்டு இருக்கும்பொழுது கணக்கிடப் பயன்படுகின்றன. நிறை புவியில், ஈர்ப்புப் புலத்திற்கு உட்பட்டிருக்கும்பொழுது,

$$E_0 = m_0 c^2 \qquad (3)$$

என்ற சமன்பாடு அக ஆற்றலையும், நிலைம நிறையையும் கணக்கிடப் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

195 நேரம் போன்ற, இடம் போன்ற (Time like and space like)

எந்த ஒரு நிகழ்ச்சியையும் அது எந்த இடத்தில் எந்த நேரத்தில் நிகழ்ந்தது எனக் குறிப்பிடுவது வழக்கம். இதற்காக நான்கு பரிமாணங்களை உடைய மின்கௌஸ்கி வெளி (space)யைக் கருதுவோம். அதன் 3 அச்சுகள் (x, y, z) இடத்தின் ஆயத்தொலைவுகளையும் (space coordinates) ஓர் அச்சு (t) நேரத்தின் ஆயத்தொலைவையும் குறிப்பதாகவும் கொள்வோம். ஓய்வில் உள்ள ஒரு சட்டத்தில் நிகழும் இரு நிகழ்ச்சிகளை (x_1, y_1, z_1, t_1) மற்றும் (x_2, y_2, z_2, t_2) எனும் ஆயத்தொலைவுகளின் மூலம் குறிப்பிடுவோம். பின்னர், இரு நிகழ்ச்சிகளுக்கு இடையேயான இடைவெளியை,

$$\rho_{12} = \sqrt{c^2(t_2-t_1)^2-(x_2-x_1)^2-(y_2-y_1)^2-(z_2-z_1)^2} \qquad (1)$$

எனும் சமன்பாட்டின் மூலம் குறிப்பிடலாம். ஓய்வு நிலையில் உள்ள கட்டத்தைப் பொறுத்து, ஒரு குறிப்பிட்ட வேகத்துடன் நகர்ந்து செல்லும் கட்டத்தில், மேற்குறிப்பிட்ட இரண்டு நிகழ்ச்சிகளை $(x'_1, y'_1, z'_1, t'_1), (x'_2, y'_2, z'_2, t'_2)$ என்னும் ஆயத்தொலைவுகளாகக் குறிப்பிடுவதாகக் கொள்வோம். நகரும் கட்டத்தில் இரு நிகழ்ச்சிகளுக்கு இடையேயான இடைவெளியை

$$\rho'_{12} = \sqrt{c^2(t'_2-t'_1)^2-(x'_2-x'_1)^2-(y'_2-y'_1)^2-(z'_2-z'_1)^2} \qquad (2)$$

என்னும் சமன்பாட்டால் குறிப்பிடலாம். லாரென்ஸ் மாற்று விதிகளைப் பயன்படுத்தி $\rho_{12} = \rho'_{12}$ என நிரூபிக்க முடியும். வெளியில் (space) ஒரே புள்ளியில் நிகழும் இரு நிகழ்ச்சிகளுக்கு, சமன்பாடுகள் (1) - (2)ஐ சமன்படுத்த வேண்டும். அவ்வாறு செய்கையில் $\rho^2_{12} > 0$ எனப் பெறப்படுகிறது. அப்போது இரண்டு நிகழ்ச்சிகளுக்கு இடையேயான இடை வெளி ஒரு மெய் எண் (real number) ஆகிறது. இதுபோன்று மெய்யான இடைவெளிகளை 'நேரம போன்ற இடைவெளி' என்கிறோம். எனவே,

$$c(t_2-t_1) > \sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2+(z_2-z_1)^2} \qquad (3)$$

ஒரே நேரத்தில் நிகழும் இரு நிகழ்ச்சிகளுக்கு, $(t_2 - t_1) = 0$ ஆகும். எனவே $\rho_{12}^2 < 0$. இப்போது ρ_{12} கற்பனை (imaginary) எண்ணாகிறது. இதுபோன்ற கற்பனை இடைவெளிகளை 'இடம் போன்ற இடைவெளி' என்கிறோம். இதற்கு

$$c(t_2 - t_1) < \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \qquad (4)$$

எனும் கட்டுப்பாடு தேவைப்படுகிறது.

196 *படைப்பு இயக்கி* (Creation operator)

ஒரு துகளை உண்டாக்குவதைக் குறிப்பதற்குப் படைப்பு இயக்கி பயன்படுகிறது. வெற்றிடத்தில் படைப்பு இயக்கி செயற்படும்போது ஒரு துகள் உண்டாக்கப்படுகிறது. $\psi^{(0)}$ என்ற அலைச் சார்பத்தினால் குறிக்கப்படும் வெற்றிட நிலையின்மீது a^+ என்ற படைப்பு இயக்கி செயற்படும்போது $\psi^{(1)}$ என்ற சார்பத்தினால் குறிக்கப்படும் ஒரு துகளைக் கொண்ட நிலை ஏற்படுகிறது. $a^+ \psi^{(0)} = \psi^{(1)}$. படைப்பு இயக்கி வெற்றிடத்தில் இருமுறை தொடர்ந்து செயற்படும்போது இரண்டு துகள்களும், n முறை தொடர்ந்து செயற்படும்போது n துகள்களும் உண்டாக்கப்படுகின்றன.

197 *பரிமாற்றத் துகள்கள்* (Exchange particles)

இரு மின்னூட்டங்களுக்கிடையே நிலவும் விசைக்கு அவைகளிடையே பரிமாற்றம் கொள்ளும் போட்டான்களே காரணமாகும். இதுபோலவே அணுக்கருவிலுள்ள புரோட்டான்கள் மற்றும் நியூட்ரான்களுக்கிடையே நிலவும் வலுவான ஈர்ப்பு விசைக்கு அவற்றிற்கிடையே பரிமாற்றம் கொள்ளும் மெசான் துகள்கள் காரணமாகும். இதனை 1935–ல் யுக்காவா (ஜப்பானிய அறிஞர்) கருதுகோள் முறையில் கண்டுபிடித்தார். இந்தப் பரிமாற்றத் துகளாகிய மெசானின் நிறை எலக்ட்ரான் நிறையைப் போல சுமார் 275 மடங்கு இருக்க வேண்டும் என்பது யுக்காவாவின் கணித முறை முடிவு. பின்னர் இத்தகைய துகள் உண்மையிலேயே உள்ளது என்பது காஸ்மிக் கதிர் ஆய்வுகளில் தெரியவந்தது. மெசான்களில் ஒருவகையான π மெசான்தான் யுக்காவா துகள். இதில் நேர்மின்னூட்டம் கொண்டது (π^+), எதிர்மின்னூட்டம் கொண்டது (π^-), மின்னூட்டம் அற்றது (π^0) என மூன்று வகைகள் உண்டு. புரோட்டான் – நியூட்ரான் துகள்களுக்கிடையே உள்ள ஈர்ப்பு விசைக்கு π^+ மற்றும் π^- மெசான்களின் பரிமாற்றம் காரணமாகும். இரண்டு புரோட்டான்கள் அல்லது இரண்டு நியூட்ரான்களுக்கு இடையே உள்ள ஈர்ப்பு விசைக்கு π^0 மெசானின் பரிமாற்றம் காரணமாகும்.

198 *பொருண்மை–ஆற்றல் சமநிலை* (Mass-energy equivalence)

நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியின்படி, விசை (F) பின்வருமாறு வரையறுக்கப்படுகின்றது:

$$F = \frac{d}{dt}(m\,v) \qquad (1)$$

இச்சமன்பாட்டில் பொருளின் பொருண்மை m ஒரு மாறிலி ஆகும். v என்பது பொருளின் வேகம். ஒரு பொருள் dx என்ற அளவு தூரத்தைக் கடக்க அதன் மீது விசை செலுத்தப்பட வேண்டும். எனவே அவ்விசையால் செய்யப்பட்ட வேலையினால் அப்பொருளின் இயக்க ஆற்றலின் அளவு கூடுகிறது. பொருளின் இயக்க ஆற்றலின் மாற்றத்தை dE எனக் கொள்வோம். இப்போது,

$$dE = F dx = mv\,dv + v^2\,dm \qquad \left[v = \frac{dx}{dt}\right] \qquad (2)$$

சார்பியல் கொள்கைகளின்படி, பொருண்மையானது வேகத்தைப் பொறுத்துப் பின்வருமாறு மாறுபடுகிறது:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \qquad (3)$$

m_0 என்பது பொருளின் இயக்கமற்ற நிலையில் பொருண்மை; c என்பது ஒளியின் திசைவேகம்.

சமன்பாடுகள் (2)–யும், (3)–யும் பயன்படுத்திக் கீழ்கண்ட சமன்பாட்டினைப் பெறலாம்.

$$dE = c^2 dm \qquad (4)$$

அதாவது, பொருளின் இயக்க ஆற்றலில் ஏற்பட்ட மாற்றம் (dE) அப்பொருளின் பொருண்மையில் ஏற்பட்ட மாற்றத்திற்கு (dm) நேர்தகவில் உள்ளது. பொருள் அசைவற்ற நிலையில் இருக்கும்பொழுது அதன் இயக்க ஆற்றல் சுழி. அதன் பொருண்மை m_0 ஆகும். எனவே சமன்பாடு (4)–ஐ தொகுப்பீடு செய்தால்

$$E_k = c^2 \int_{m_0}^{m} dm = c^2 (m - m_0) \qquad (5)$$

சமன்பாடு (5)–லிருந்து ஒரு பொருளின் இயக்க ஆற்றலை அப்பொருளின் பொருண்மையின் அதிகரிப்பு மூலமாக வெளிப்படுத்தலாம், அல்லது, ஒரு பொருளின் மொத்த ஆற்றல், அப்பொருளின் இயக்க ஆற்றல், (அப்பொருளின் அசையா நிலையில் தன்னகத்தே கொண்டுள்ள) அசையா ஆற்றல் என்பவற்றில் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாகும் என அறியலாம். எனவே,

$$E = E_k + m_0c^2 = mc^2 \qquad (6)$$

என எழுதலாம். இதனால் பொருண்மை m-க்குச் சமமான ஆற்றல் mc^2 அல்லது ஆற்றல் சமமான பொருண்மை ($m = E/c^2$) என்பது பெறப்படுகிறது.

199 பொருண்மை மாறுபடு சமன்பாடு (Mass variation formula)

நியூட்டனின் இயக்கவியலில் ஒரு நகரும் பொருளின் பொருண்மை எதைப் பொறுத்தும் மாறுபடுவதில்லை. ஆனால் சார்பியலின்படி பொருளின் பொருண்மை திசைவேகத்தைப் பொறுத்து மாறுபடும் என்பதை இச்சமன்பாடு விளக்குகிறது. நியூட்டன் விதிகளின்படி இப்பொருட்கள் செயலெதிர்ச் செயற்படும்பொழுது ($m_1v_1 + m_2v_2$) என்பது செயலெதிர்ச் செயலுக்கு முன்னும் பின்னும் ஒரே மதிப்பைக் கொண்டுள்ளதாகக் கருதப்படும். இக்கருத்து 'உந்தம் அழிவின்மை விதி' என அழைக்கப்பட்டது. ஆனால் ஐன்ஸ்டீன் சமன்பாடுகளின்படி (m_1, m_2 மாறிலிகள் எனக் கொள்வோமாயின்) $m_1v_1 + m_2v_2$ என்ற அளவு மோதலுக்குப் பிறகு கூடவோ குறையவோ செய்யலாம். இனி பண்டை நிறைகளை (classical masses) (m_1^0, m_2^0) எனக் குறிப்பிடுவோம். எனினும் லாரண்ஸ் மாற்றத்தின் பயனாய்ச் செயலெதிர்ச் செயலுக்குப் பிறகு மாறாமல் இருக்கக் கூடிய அளவும் உள்ளது. அதாவது

$$\frac{m_1^0 v_1}{\sqrt{1-\frac{v_1^2}{c^2}}} + \frac{m_2^0 v_2}{\sqrt{1-\frac{v_2^2}{c^2}}}$$

என்னும் அளவும் மாறாதது. எனவே, சார்பியலில் ஒரு பொருள் ஓய்வில் இருக்கும்பொழுது அளவிடப்படும் அதன் நிறையை m_0 எனக் கொண்டால், ஐன்ஸ்டீன் கொள்கையின்படி v என்ற திசைவேகத்துடன் இயங்கும் ஒரு பொருளின் சார்பியல் நிறை

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}.$$

இவ்வகையான பொருண்மை மாற்றத்தை புச்செரெர் என்ற அறிவியல் வல்லுநர், மிகுவேகப் பீட்டா துகள்களை ரேடியோ புரோமைடு என்ற கதிரியக்க மூலத்திலிருந்து பெற்று, சோதனை மூலம் நிரூபித்தார்.

200 போஸ் வாயு (Bose gas)

முழு எண் (0, 1, 2, ...) மதிப்புகளை தற்சுழற்சியாகக் கொண்டு ஒன்றோடு ஒன்று வினை புரியாத சமத் துகள்களைக் கொண்ட அமைப்பு போஸ் (போசான்) வாயு எனப்படும். எடுத்துக்காட்டாக, தற்சுழற்சி மதிப்பு சுழி (s = 0) உடைய π – மெசான், K–மெசான், θ–மெசான் ஆகியவைகளும், தற்சுழற்சி மதிப்பு ஒன்று (s = 1) உடைய போட்டான்களைக் கொண்ட மின்காந்த அலைகளான காமா கதிர்களும் போசான் வாயு எனப்படும்.

201 மறுஇயல்பாக்கக் குழுக்கொள்கை (Renormalization Group Theory)

குவாண்டம் புலக் கொள்கையில் ஒரு செயல் திட்டம் மறுஇயல்பாக்கம் (Renormalization) எனப்படுகிறது. அதில் புறஊதா அல்லது குறுதொலைவு விரிவடைதல்கள் இல்லாத S-அணி வீசுகளை ஒவ்வொரு வரிசையாக சிற்றுலைவுக் கணக்கீடுகளில், பிணைப்பு மாறிலிகளைப் பற்றியதான ஒரு விரிவில் கணக்கிடுவதற்கான விதிகளின் ஒரு தொகுப்பு அடங்கியுள்ளது. மறுஇயல்பாக்கக் குழு மறுஇயல்பாக்கக் கொள்கையின் ஒரு முக்கியமான கூறு. அது μ எனு மறுஇயல்பாக்கப் புள்ளியை மறுஇயல்பாக்கக் கொள்கையை எந்த அளவுக்கு சார்ந்திருக்கிறது என்பதை ஆராய்கிறது. S-அணிக்கூறுகளைப் போன்ற பதிவு செய்யக்கூடிய அளவுகள் மறுஇயல்பாக்கப் புள்ளியை சார்ந் திருப்பதில்லை. ஆனால் அறுதியான விரிவு அளவு λ_R, நிறை அளவு m_R ஆகியவை மறு இயல்பாக்கப் புள்ளியை சார்ந்தது அமைகின்றன. அளவிடக் கூடிய அளவுகள் இந்த அளவுகள் இந்த அளவுகளின் சார்புகளாகும். மறுஇயல்பாக்கப் புள்ளியின் மதிப்பை மாற்றும் போது ஆகியவற்றில் எற்படும் மாற்றங்கள், அளவிடக் கூடிய S- அணிக்கூறுகளில் மாற்றங்களை உண்டாக்காத வகையில் நிகழ்கின்றன. μ எனும் நிறையளவை மாற்றுவதை அளவுத் திட்டத்தை மாற்றுவதற்கு ஒப்பானதாகக் கொள்ள முடியும். எனவே மறு இயல்பாக்கக் குழு மறுஇயல்பாக்கக் கொள்கையில் அளவுத்திட்டத்தை மாற்றுவதுடன் நெருக்கமாகப் பிணைந்துள்ளது. ஒரு குறிப்பிட்ட வினையில் பங்கேற்கிற துகள்களின் உந்தங்களில் அளவுத் திட்ட மாற்றங்களை ஏற்படுத்துவதன் மூலம் புலக் கொள்கையின் உயர் ஆற்றல் மற்றும் குறை ஆற்றல் நடத்தைகளை ஆராய்வதை இது சாத்தியமாக்குகிறது. அதன்பின் இக்கொள்கையின் விளைவுறு விரிவு அளவான $\lambda_R(\mu)$ ஆய்வு செய்யப்படுகிற வினையின் ஆற்றல் அளவீட்டுத் திட்டங்களைப் பொறுத்திருப்பதாகக் கண்டறியப்படுகிறது. சில குறிப்பிட்ட அளவீட்டுக் கொள்கைகளுக்கு, இடைவணைக்கு ஓர் அளவீடாக விளங்குகிற விளைவுறு இணைப்பு மாறிலி, ஆற்றல் அளவு கோல் அதிகமாகும் போது குறைகிறது. இந்த நடத்தை ஈற்றணுகு விடுதலை (asymptotic freedom) எனப்படுகிறது. குவார்க்குகள் ஒன்றுக்கொன்று மிக நெருக்கமாக வந்து பெரும் ஆற்றல்களுடன் மோதிக்கொள்ளும்போது அவை சிறிய விளைவுறு பிணைப்பு மாறிலியுடன் சுதந்திரமான துகள்களாக நடந்து கொள்வதற்கான காரணத்தை இது விளக்குகிறது.

202 மறுதரவு சூத்திரம் (Recurrence formula)

இரண்டாம் நிலை, ஒருபடித்தான பகுத்தல் சமன்பாட்டிற்கான தீர்வு, மறுதரவு சூத்திரமாக அமையும்.

$$y'' + p(x)\, y' + Q(x)\, y = 0 \qquad (1)$$

இங்கு $y'' = \frac{d^2x}{dy^2}$

போன்ற சமன்பாட்டிற்கான தீர்வு

$$y = \sum_{r=0}^{\infty} a_r (x - x_0)^{k+r} \qquad (2)$$

என்று அமையும். இதில் k ஒரு மாறிலி.

சமன் (1)–ல், சமன் (2)–ஐப் பதிலீடு செய்து $x^0, x^1, x^2, \ldots, x^r, \ldots,$ இவைகளின் கெழுக்களை (coefficient) சுழிக்குச் சமனீடு செய்வதால், a_r–ன் மதிப்பும், k-ன்மதிப்பும் கிடைக்கப்பெறலாம். இத்தீர்வின் பண்புகளில் ஒன்று, மறுதரவு ஆகும்.

எடுத்துக்காட்டாக, $y'' - 2xy' + 2xy = 0 \qquad (3)$

என்ற ஹெர்மைட் பல்லுருபுத் தொடரின் (Hermite polynomial) தீர்வு

$$y = \sum_{r=0}^{\infty} a_r x^{k+r} \qquad (4)$$

இத்தீர்வை சமன் (3)–ல் பொருத்தினால்,

$$a_{r+2} = \frac{2(k + r - n)}{(k + r + 2)(k + r + 1)}\, a_r \qquad (5)$$

ஏதேனும் இரு (a_{2n} , a_{2n+1}) கெழுக்களின் மதிப்புத் தெரிந்தால், சமன் 5–ஐப் பயன்படுத்தி, மற்ற எல்லாக் கெழுக்களையும் காணலாம். சமன் (5), சமன் (4)–ன் மறுதரவு சூத்திரம் ஆகும்.

குவாண்டம் அலையியலில், செயலுருக்களை, பல்லுருபுத் தொடராக வரித்து, மறுதரவு தீர்வு காணலாம். செயலுருபுக்கள், வரைநிலைக்குட்பட்டிருக்கும், கெழுக்களும், வரையறைக்குட்பட்டதாகும். எனவே ஏதாவதொரு k-ன் மதிப்புக்கு a_r சுழியாகும். இந்த வரையறை கொண்டு, பொருட்பண்புகளைக் காண இயலும்.

சில பல்லுரு தொடர்களும், அதற்கான தீர்வுகளின் மறுதரவு சூத்திரங்களும், கீழே தரப்பட்டிருக்கின்றன.

1. பெசல் சார்பம் (Bessel function):

$x^2y'' + xy' + (x^2 - n^2)y = 0.$

தீர்வு : $y = \sum_{r=0}^{\infty} a_r x^{k+r}.$

மறுதரவு சூத்திரம் : $a_{r+2} = \frac{1}{(k + r + n + 2)\,(k + r - n + 2)}\, a_r.$

2. லெஜண்டர் பல்லுருபம் (Legender polynomial) :

$(1 - x^2)y'' - 2xy' + n(n+1)y = 0.$

தீர்வு : $y = \sum_{r=0}^{\infty} a_r x^{k-r}.$

மறுதரவு சூத்திரம் : $a_{r+2} = \dfrac{(k-r)(k-r-1)}{(k-r+n-1)[(k-r)-(n+2)]} a_r$

203 மாறுதலின்மை (Invariance)

ஒரு குறிப்பிட்ட நிகழ்வின் ஆயங்கள், ஒரு குறிப்பிட்ட ஒப்பிடு தளத்தைப் பொறுத்து அமைகின்றன. ஓர் ஒப்பிடு தளத்திலிருந்து மற்றொரு ஒப்பிடு தளத்திற்குப் போகும்போது அந்த நிகழ்வின் ஆயங்கள் மாறுகின்றன. அவ்வாறு ஆயங்கள் மாறினாலும், அவற்றினாலான சில கோவைகளின் மதிப்பு மாறுவதில்லை. அப்படிப்பட்ட கோவைகளுக்கு மாறுதலின்மை உண்டு என்கிறோம். இரண்டு ஒப்பிடு தளங்களுக்கிடையே ஓரே சீரான வேகம் இருக்கும்போது, இந்த மாறுதலின்மை 'லாரன்ட்ஸ் மாறுதலின்மை' எனப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, $c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2$ என்ற கோவையின் மதிப்பு எல்லா நிலைம ஒப்பிடு தளங்களிலும் ஒரே மாதிரியாக இருப்பதால், இந்தக் கோவை லாரன்ட்ஸ் மாறுதலின்மையைப் பெற்றிருக்கிறது. இதேபோன்று லாரன்ட்ஸ் மாறுதலின்மையுடைய மற்றொரு கோவை $E^2 - c^2p^2$ ஆகும்.

204 மின்னூட்ட உடன்மாற்றம் (Charge conjugation)

1928–ஆம் ஆண்டு டிராக் என்பவர் எதிர்குறி மின்னூட்டமுடைய எலக்ட்ரானுக்கு எதிர்துகளாக நேர்குறி மின்னூட்டமுடைய பாசிட்ரான் என்ற துகள் உள்ளது என்பதைக் கணக்கீடு மூலம் கண்டறிந்து கூறினார். மின்னூட்டப் பரிமாற்றம் என்பது துகளுக்கும் அதன் எதிர்துகளுக்கும் சமச்சீர் இயக்கி (symmetry operator) செயல்படுவதைக் குறிக்கிறது. சமச்சீர் இயக்கியைப் பயன்படுத்தி எலக்ட்ரானைப் பாசிட்ரானாகவும், பாசிட்ரானை எலக்ட்ரானாகவும் மாற்றுவதை மின்னூட்ட உடன்மாற்றம் அல்லது துகள்–எதிர்துகள் உடன்மாற்றம் என்று கூறுகிறோம்.

205 முழுமைக் காலம் (Absolute time)

'தன்னிச்சையாக ஓரே சீராக ஓர் ஆற்றைப்போல் காலம் ஓடிக்கொண்டிருக்கிறது' என்பது காலத்தைப் பற்றிய நியூட்டனின் கருத்தாகும். இரு நிகழ்வுகளுக்கு இடையேயுள்ள கால அளவின் மதிப்பு அதை அளப்பவரின் நிலையைப் பொறுத்து மாறுவதிலலை. ஆகவே காலம் சார்பற்றது என்றார் நியூட்டன். ஆனால், காலம் பற்றிய ஐன்ஸ்டீனின் கருத்து இதற்கு முற்றிலும் மாறாக இருக்கிறது. இரு நிகழ்வுகளுக்கு இடையேயுள்ள கால அளவின் மதிப்பு அதை அளப்பவரின் நிலையைப் பொறுத்து மாறுகிறது என்று கூறிய ஐன்ஸ்டீன் அதற்கான சமன்பாட்டையும் தருவித்தார். ஒரு நபரைப் பொறுத்து, ஓரே காலத்தில் நிகழும் இரு நிகழ்வுகள், மற்றொரு நபருக்கு வெவ்வேறு காலங்களில் நிகழலாம். ஆகவே காலம் சார்புடையது என்றார் ஐன்ஸ்டீன்.

206 மும்மை மட்டம் (Triplet state)

அணுவின் வகை எண் (multiplicity) மூன்று என்றால் அதன் எலக்ட்ரான் ஆற்றல் மட்டம் மும்மை மட்டத்தில் இருப்பதாகக் கொள்ளப்படுகிறது. அணுவின் எலக்ட்ரான் மட்டம் யாவற்றையும் அதன் சுற்றுப்பாதை கோண உந்த குவாண்டம் எண் L (Orbital angular momentum quantum number), மற்றும் தற்சுழற்சிக் குவாண்டம் எண் S (spin quantum number) இவற்றால் குறிப்பிடலாம்.

$$J = J_i = L_i + S_i$$

இதில் J-என்பது மொத்தக் கோண உந்தக் குவாண்டம் எண் (total angular momentum quantum number) ஆகும்.

L = 0, 1, 2, 3, 4, 5, ---
S, P, D, F, G, H,---

காட்டாக, 2P என்ற குறியீட்டில் 2 என்பது வகை எண்ணைக் குறிக்கும். அதாவது L-ம், S-ம் எத்தனை திசையமைப்பு நிலைகளை (orientation) அடைய முடியும் என்பதைக் காட்டும் எண்.

L > S ஆக இருக்கும்போது, வகை எண் 2S + 1 ஆகும்.
S = 0 என்றால் (J = L), 2S + 1 = 1.

ஆகவே, ஒரே ஓர் எலக்ட்ரான் மட்டத்தை மட்டும் அடைய முடியும். இந்நிலையை ஒற்றை மட்டம் (singlet state) என்கிறோம்.

$S = \frac{1}{2}$ என்றால், ($J = L + S$, (ie) $L + \frac{1}{2}$, $L - \frac{1}{2}$)

2S + 1 = 2 நிலையை இரட்டை மட்டம் (doublet state) என்கிறோம்.

S = 1 என்றால் (J = L + 1, L, L-1). 2S + 1 = 3 நிலையை மும்மை மட்டம் (triplet state) என்கிறோம். அதாவது வகை எண் 2S + 1 என்பது, அணுவின் மொத்தக் கோண உந்தம் அடையக்கூடிய மட்டங்களின் எண்ணிக்கையைக் குறிப்பதாகும். மும்மை மட்டத்தில் J-ன் மட்ட எண்ணிக்கை 3 ஆகும். அணுக்கரு மட்டங்களுக்கான பல்வகைப் பாடு எண், கூடு மாதிரி (shell model) அமைப்பில் இதேபோலக் குறிப்பிட முடியும்.

207 முழுமை வெளி (Absolute space)

இயக்கவியல் பற்றிய தனது கருத்துக்களை நியூட்டன் கூறுகையில், நான்கு அடிப்படைச் சொற்களைக் கையாளுகிறார். அவை வெளி, காலம், பொருண்மை, ஆற்றல். நியூட்டன் கூற்றுப்படி, வெளி சலனமற்றது. இந்தச் சலனமற்ற வெளியில்தான், பொருட்கள் எப்போதும் நகர்ந்து கொண்டேயிருக்கின்றன. சலனமற்ற இந்த வெளியைப் பொறுத்து நகரும் ஒரு பொருளின் வேகத்தைக் கணக்கிட முடிந்தால், அந்த வேகம்தான் அப்பொருளின் உண்மையான / முழுமையான திசைவேகம் (absolute velocity) ஆகும். இந்த வெளியில் ஏற்படுகின்ற இரு நிகழ்வுகளுக்கு இடையேயுள்ள இடைவெளியின் அளவு, அதை அளப்பவரைப் பொறுத்து மாறுவதில்லை. அப்படி மாறாமலிருப்பதால், இந்த வெளியை சார்பிலா வெளியென்றும், முழுமைவெளி என்றும் கூறலாம். வெளியைப் பற்றிய ஐன்ஸ்டீனின் கருத்துக்கள் முற்றிலும் வேறுவிதமாக இருக்கின்றன. இரு நிகழ்வுகளுக்கு இடையேயுள்ள இடைவெளியின் அளவு அதை அளப்பவரைப் பொறுத்து மாறுகிறதென்றும், ஆகவே வெளி, சார்புடையது என்றும் ஐன்ஸ்டீனின் சிறப்பு சார்பியல் கொள்கை கூறுகிறது.

208 மெட்ரிக் டென்சர் (Metric tensor)

N பரிமாணமுள்ள வெளியில் அடுத்தடுத்து உள்ள இரு புள்ளிகளைக் கருதுவோம், ஏதேனும் ஒரு ஆயத் தொகுதியை (coordinate system) பொறுத்து, அப்புள்ளிகளின் ஆயத் தொலைவுகளை (coordinates) x^i மற்றும் $x^i + dx^i$ எனக் கொள்வோம். இரு புள்ளிகளுக்கு இடைப்பட்ட தூரத்தை ds எனக் கொள்வோம். தூரத்தின் இருபடியை (ds^2) கழிநுண்ணிகளின் (infinitesimals) (அதாவது dx^i) இருபடி வடிவ முறையில்

$$ds^2 = g_{ij}\, dx^i\, dx^j$$

என எழுதலாம். இங்கு உள்ள g_{ij} எனும் கெழுக்கள் (coefficients) x^iஐ சார்ந்திருக்கலாம். ஆனால் கெழு அணியின் (coefficientmatrix) அணிக்கோவை (determinant) மதிப்பு சுழியாக

இருக்கக் கூடாது. அதாவது ($|g_{ij}| \neq 0$). அப்படிப்பட்ட வெளியை ரீமானின் வெளி (Riemannian space) எனலாம். மேலும் g_{ij} எனும் கெழுக்கள் x^iஐ சாராமலிருப்பின் அதனை ஈக்ளுடியன் வெளி (Euclidean space) என அழைக்கிறோம். அதே சமயம் g_{ij} எனும் கெழு அணியை சமச்சீர் (symmetric) முறையில் எடுத்துக் கொண்டால், அதாவது $g_{ij} = g_{ji}$. பிறகு g_{ij}- யானது தரம் இரண்டு உடைய கோவேரியண்ட் சமச்சீர் டென்சர் ஆகிறது. இதையே நாம் அடிப்படை டென்சர் அல்லது மெட்ரிக் டென்சர் என அழைக்கிறோம்.

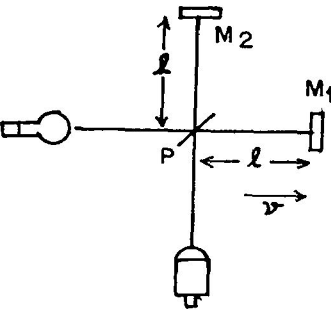
209 மைக்கெல்சன் – மார்லே குறுக்கீட்டு மானி (Michelson-Morley Interferometer)

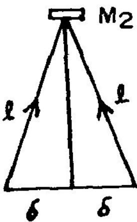
ஈதர் என்று ஒரு ஊடகம் உள்ளதா, இல்லையா என உறுதிப்படுத்தவும், இயங்கும் ஊடகங்களில் ஒளியின் திசைவேகத்தைச் சரியாக வரையறுக்கவும் மைக்கெல்சனும் மார்லேயும் பயன்படுத்திய கருவி குறுக்கீட்டு மானியாகும். ஈதர் என்று ஓர் ஊடகம் இருக்குமானால் ஒன்றைச் சார்ந்து மற்றது நிலையாகவும், அதே வேளையில் ஈதரைச் சார்ந்து ஒரே வேகத்துடன் இயங்குகிறவை யாகவும் உள்ள இரண்டு புள்ளிகளுகக இடையில் ஒளி சென்று மீள ஆகும் நேரம், ஈதரைச் சார்ந்த திசைவேகத்துக்கு நேர்தகவிலிருக்கும் என மாக்ஸ்வெல் கருத்து வெளியிட்டார். மைக்கெல்சனும் மார்லேயும் ஈதரின் ஊடான பூமியின் பயணத் திசைவேகத்தைப் பயன்படுத்தி ஒரு சோதனையை வடிவமைத் தார்கள். அதில் P என்ற ஓரளவு ரசம் பூசப்பட்ட ஆடியிலிருந்து சம தொலைவில் M_1, M_2 என்ற இரண்டு ஆடிகள் படத்தில் காட்டியபடி பொருத்தப்பட்டன. V என்ற திசைவேகத்துடன் பூமி பயணம் செய்து கொண்டிருப்பதாக வைத்துக் கொள்வோம். அதன் திசையிலேயே P என்ற ஆடியிலிருந்து M_1 என்ற ஆடிக்கு சென்று மீள ஒளிக்கு ஆகும் நேரம்

$$t_1 = l\left(\frac{1}{c-v} + \frac{1}{c+v}\right) = \frac{2l}{c(1 - v^2/c^2)}.$$

பூமியின் பயணத் திசைக்கு நேர்குத்தான திசையில் P-யிலிருந்து M_2 என்ற ஆடிக்கு சென்று மீள ஆகும் நேரம்.

$$t_2 = \frac{2\sqrt{l^2 + \delta^2}}{c} = \frac{2l}{c}\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

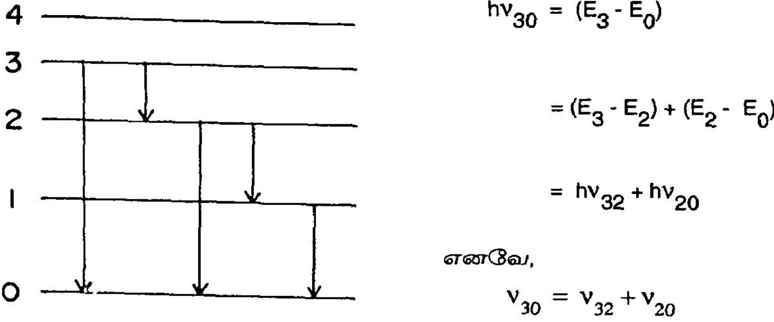




இதில் δ என்பது ஒளி P-யிலிருந்து M_2-க்கு சென்று கொண்டிருக்கிற நேரத்தில், பூமியின் திசையில் P நகர்ந்த தொலைவு. t_2, t_1-ஐ விட $\sqrt{1 - (v^2/c^2)}$ மடங்கு சிறியதாயிருக்கும். PM_1 பூமியின் பயணத்திசைக்கு இணையாகவும், PM_2 அதற்கு நேர்குத்தாகவும் இருக்கும்படி கருவியைத் திருப்பி வைத்து சோதனையைத் திரும்ப செய்தால், குறுக்கீட்டு வரிகளில் ஓர் இடப்பெயர்ச்சி ஏற்படும். அதிலிருந்து v-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம் எனத் திட்டமிடப் பட்டது. ஆனால் சோதனையின்போது அத்தகைய இடப்பெயர்ச்சி எதுவும் தென்படவில்லை. எனவே ஈதர் என்று ஓர் ஊடகம் இருப்பதற்கான உறுதியான சான்று கிட்டவில்லை.

210 ரிட்ஸ் இணைதல் கொள்கை (Ritz combination principle)

கிளர்ச்சியுற்ற அணுவிலிருந்து வெளிப்படும் நிறமாலை வரிகளின் வரிசைக்கான அனுமான விதி (empirical law) 1905–ல் ரிட்ஸ் என்பவரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இவ்விதி கிளர்ச்சியுற்ற அணுவின் ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையே தாவும் எலக்ட்ரானின் செயலெதிர் செயற்பாட்டால் ஏற்படும் போட்டான்களின் அதிர்வெண்களையும் பற்றியது. எலக்ட்ரானின் தொடக்க ஆற்றல் மட்டம் E_i என்றும், முடிவு ஆற்றல் மட்டம் E_f என்றும் வைத்துக் கொண்டால், $h\nu = E_i - E_f$ ஆகும். காட்டப்பட்டுள்ள ஆற்றல் மட்ட விளக்கப்படத்திலிருந்து கீழ்க்கண்ட உண்மைகளை அறியலாம்.



$$h\nu_{30} = (E_3 - E_0)$$

$$= (E_3 - E_2) + (E_2 - E_0)$$

$$= h\nu_{32} + h\nu_{20}$$

எனவே,

$$\nu_{30} = \nu_{32} + \nu_{20}$$

இதுபோலவே, $\nu_{30} = \nu_{32} + \nu_{21} + \nu_{10}$ எனக் காணலாம். நிறமாலை வரிகளின் அதிர்வெண்களின் கூட்டுத்தொகை அதே நிறமாலை வரிசையில் உள்ள ஓர் அதிர்வெண்ணைக் குறிக்கும் என்பதே ரிட்ஸ் இணைதல் கொள்கையாகும்.

211 லாம்ப் இடப்பெயர்ச்சி (Lamp shift)

ஹைட்ரஜன் அணுவினுடைய நிறமாலை நுண்வரி அமைப்பில் லாம்ப் இடப்பெயர்ச்சி நிகழ்கிறது. ஹைட்ரஜன் அணுவில் மின்புலம் செயற்படும்போது லாம்ப் இடப்பெயர்ச்சியினால் 2s, 2p நிலைகளினுடைய ஒரே மதிப்பு உடைய பல்வேறு ஆற்றல் மட்டங்களின் பிணைப்பு (degeneracy) நீக்கப்படுகிறது. எலக்ட்ரானைத் தற்சுழற்சி உடைய சாரபுத் திசைவேகத் துகளாக எடுத்துக் கொண்டு, எலக்ட்ரானுக்கும் மின் காந்தப்புலத்திற்கும் இடையே நிகழும் வினைச் செயற்பாட்டினால் லாம்ப் இடப்பெயர்ச்சியைக் கணக்கிடலாம்.

212 லாரன்ஸ் குறுக்கம் (Lorentz contraction)

இயக்கத்திலிருக்கும் ஒரு பொருளின் நீளம் பார்வையாளர் ஒருவரின் கண்களில் எப்படித் தென்படும் என்பது பற்றிய உண்மையை இக்குறுக்கம் சுட்டுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக ஒரு பார்வையாளர் ஒரு அளவு கோலின் நீளத்தை அளப்பதாகக் கொள்வோம். பார்வையாளரும் அளவுகோலும் நகராமல் இருந்தாலோ, அல்லது ஒரே வேகத்தில் ஒரே திசையில் நகர்ந்தாலோ, இடையே சார்புத் திசைவேகம் இருக்காது. அப்போது அளவுகோலின் நீளம் l_0 என்று பார்வையாளருக்குத் தெரிவதாகக் கொள்வோம். பார்வையாளருக்கும் அளவுகோலுக்கும் இடையே இப்போது சார்புத் திசைவேகம் v என்று இருப்பதாகக் கொண்டால், பார்வையாளருக்கு அளவுகோலின் நீளம் l என்று குறைந்து தென்படும். l_0–உம் l–உம் கொள்ளும் தொடர்பை

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$ (c என்பது ஒளியின் வேகம்)

என்று 1905-ஆம் ஆண்டில் ஐன்ஸ்டீன் தனது சார்புக் கொள்கையின் ஒரு முடிவாகக் குறித்துக் காட்டினார். ஆனாலும், இக்குறுக்கத்திற்கான சாத்தியக்கூறை ஏற்கெனவே லாரன்ஸ் என்பவர் சுட்டிக்காட்டிப் போயிருந்ததால், அவருடைய பெயரையே அது பெற்றுக் கொண்டது.

213 வெளி-கால மெட்ரிக் அளவு (Space - time metric)

ஐன்ஸ்டீனின் சார்புக் கொகையை நன்கு அறிந்த அறிஞர்களில் மின்கௌவ்ஸ்கி ஒருவராவார். நான்கு பரிமாணமுள்ள ஒரு வெளி-காலத் தொடர் (space - time continuum) சார்புக் கொள்கையை மிகச் சுருக்கமாகவும், முழுமையாகவும் எழுதலாம் என்பது அவரது கூற்று. இந்த நான்கு பரிமாண வெளி-காலத் தொடரில், மிகமிக அருகிலுள்ள இரண்டு புள்ளிகளுக்கு இடையேயுள்ள வெளி-கால (ds) அளவிற்கான கோவையை 'வெளி-கால மெட்ரிக் அளவு' என்கிறோம். வெளி-காலத் தொடர் தட்டையாக (flat) இருக்கும்போது $ds^2 = c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$ என்பது, வெளி-கால மெட்ரிக் சமன்பாடாகும். ds^2 மதிப்பு நேர்குறியில், எதிர்குறியில் மற்றும் சுழியாக இருக்கும்போது அந்தப் புள்ளிகளுக்கு இடையேயுள்ள வெளி-காலம் (ds) முறையே, காலம்போன்றது (time like), வெளிபோன்றது (space like), மற்றும் ஒளிபோன்றது (light like), என்று குறிப்பிடப்படுகிறது.

214 வெளி-கால வளைவு (Space-time curvature)

வரையறுக்கப்பட்ட சார்பியல் கோட்பாடுகளையும் ரீமானின் நாற்பரிமாண வடிவியலையும் (four dimensional geometry) பயன்படுத்தி, மின்கௌஸ்கி என்பவர் நாற்பரிமாண் வெளி-காலத் தொடர்பம் (four dimensional space-time continuum) என்பதைப் பெற்றார். இதன்படி ஒரு நிகழ்ச்சியைக் குறிக்க x, y, z என்ற மூன்று அளவுகளை மட்டும் கொண்டு தொன்மையான எக்ளுடியன் வடிவியல் முறையைப்போல (Euclidean geometry) முழுமையாகக் குறிக்க இயலாது. அதை முழுமையாகக் குறிக்க t எனும் கால அளவும் வேண்டும். இப் புதுக் கருத்துப்படி வெளி-காலம் எனத் தனித்தனி உண்மைகளாகக் கருதப்பட்டவை மாறி, அவற்றின் இரண்டறக் கலந்த தன்மையே தனித்து நிற்கும் என்னும் உண்மை நிலைநிறுத்தப்பட்டது. அண்டம் (universe) என்பது அத்தகைய ஒரு வெளி-காலத் தொடர்பமே எனக் கருதப்படுகிறது. இது ஈக்ளுடியன் அமைப்புக் கொண்டது அன்று. இது வரையறுக்கப்பட்ட ஒன்று; ஆனால் எல்லையற்றிருப்பது. நாற்பரிமாண வெளி-காலத் தொடர்பமாகிய இவ்வுலகின் வளைவினைப் பொருளின் அழுத்தம் இப்பொழுது உருக்குலைக்கிறது. இக்குறிக்கோளின் அடிப்படையில் உருச்சிதைந்த வளைந்த வெளி-காலத் தொடர்பத்தில் ஒரு பொருளின் இயக்கத்தைக் கணிக்கும் விதியை ஆய்ந்து சார்பியல் ஈர்ப்பு விதியை உருவாக்கினர். நியூட்டனின் இருபடி எதிர் தகவு விதி (inverse square law) என்பது சார்பியல் விதியின் முதல்நிலைத் தோராயமே என மின்கௌஸ்கி கூறினார். புதன் (mercury) என்னும் கோளின் கதிரவனை நெருங்குமிடம் (perihelion) முன்னேறிவருவது சுழல்மின் துணைவனிடமிருந்து (comparison of sirius) வந்த ஒளியில் காணப்பட்ட நிறமாலை வரிகள் முதலியன வானியற்பியல் நிகழ்ச்சிகளைப் பற்றிய செய்முறைச் சோதனைகள் இதன் சிறப்பினை நிலைநாட்டின.

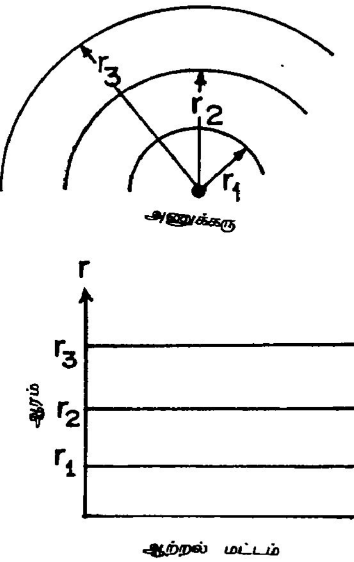
எலக்ட்ரானியல்
Electronics

215 ஆளுகைச் சுற்று (Control circuit)

கணிணி இயல் **(Computer Science) :** இலக்க வகைக் கணிணியில் (Digital computer). செயல்படுத்த வேண்டிய திட்டத்தில் (Program) கட்டளையால் செயல்படும் மின்சுற்று. மின் இயல் **(Electricity) :** ஒரு இயந்திரத்தின் குறிப்பிட்ட செயலைக் கட்டுப்படுத்தும் மின்சுற்று. எலக்ட்ரான் இயல் **(Electronics) :** ஒரு காந்தப் பெருக்கியின் (Magnetic Amplifier) கட்டுப்படுத்தும் சுருளுக்கு (Control winding) மின் ஆற்றல் வழங்கும் சுற்று.

216 ஆற்றல் மட்டம் (Energy level)

ஒரு அணுவில் அமைந்த எலக்ட்ரான்கள், r_1, r_2, r_3, ... ஆரங்களைக் கொண்ட வரையறுக்கப்பட்ட சுற்றுப்பாதைகளில் (orbits) அணுக்கருவைச் சுற்றி வருவதாகக் கருதப்படுகின்றது. மற்ற அனைத்து சுற்றுப்பாதைகளும் தவிர்க்கப்பட்டவை (forbidden). உள்சுற்றுப் பாதையிலிருந்து வெளிச் சுற்றுப் பாதைக்கு எலக்ட்ரான்களை எடுத்துச் செல்ல, அணுக்கருவின் ஈர்ப்பு விசைக்கு எதிராக வேலை செய்ய வேண்டும். இதனால் சுற்றுப் பாதைகளுடன் எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் மாறுகின்றது. எலக்ட்ரான் சுற்றுப்பாதை களுக்கான ஆற்றல் கிடைத்தள நேர்கோடுகளாகக் குறிக்கப்படும்போது, அவை ஆற்றல் மட்டங்கள் எனப் படுகின்றன. சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் கூடும்போது, ஆற்றல் மட்டம் உயர்கிறது. வெப்பம், ஒளி மற்றும் கதிர்வீச்சு (radiation) போன்ற ஆற்றல்களை ஒரு அணு பெறும்போது, எலக்ட்ரான்கள் உயர் ஆற்றல் மட்டங் களுக்குச்செல்கின்றன. அந்த அணு கிளர்ச்சி யுற்றதாகக் (excited) கருதப்படும். இந்நிலை தற்காலிக மானதே. எலக்ட்ரான்கள், விரைவில் தரைநிலை (ground state) ஆற்றல் மட்டங்களுக்குத் திரும்பும். அப்போது, ஆற்றல் வேறுபாடு ஒளியாகவோ, வெப்பமாகவோ அல்லது மற்ற கதிர்வீசசாகவோ வெளிப்படும்.



217 இரைச்சல் (Noise)

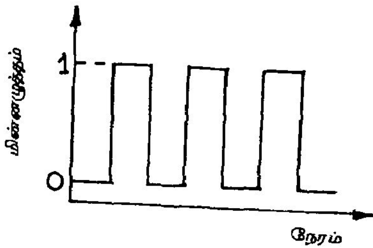
மின்மிகைப்பிகளை (amplifiers) கையாளும்போது நாம் உள்ளிடும் மின்னழுத்தத்தைச் சைகை என்கிறோம். நாம் விரும்பாமலே, தன்னிச்சையாக, நம் கட்டுப்பாட்டிற்குள் இல்லாமல், தேவையற்ற சைகையாக உண்டாகும் உள்ளிடு மின்னழுத்தமே இரைச்சல் எனப்படும். நடைமுறையில் எல்லா மின்னணுவியல் கருவிகளிலும் இரைச்சல் காணப்படும். தேவையான அளவு வீச்சையுடைய ஓர் இரைச்சல் ஒரு மின்மிகைப்பியின் உள் முனையில் தோன்றினால் அது மின்மிகைப்பியின் வெளிமுனையில் ஒரு தவறான வெளிப்பாட்டு மின்னழுத்தத்தை ஏற்படுத்துகிறது. மிகுந்த உணர்திறமுடைய மின்மிகைப்பிகளில் கணிசமான வெளிப்பாட்டுத் திறனை வழங்குவதற்குச் சிறிதளவு உள்ளிடு மின்னழுத்தமே தேவைப்படுகிறது. மின்மிகைப்பிகளின் உணர்திறம் என்பது அவற்றால் எந்த அளவு வலுக்குறைந்த சைகைகளை வலுமிகுந்த சைகைகளாக மாற்றலாம் என்பதன் ஓர் அளவாகும். வலுக்குறைந்த சைகைகளை ஏற்பதற்காகத் திட்டமிட்டு அமைக்கப்படும் மின்மிகைப்பியின் உள்ளீட்டுப் பெருக்கம் பல ஆயிரம் மடங்குகளாக இருக்கும்.

இரைச்சல், வானிடை ஓசைகள் போன்ற இயற்கையான காரணங்களிலிருந்தும், அல்லது மின்தடைகளில் எலக்ட்ரான்கள் வெப்பக்கிளர்ச்சி அடைதல் (thermal agitation),

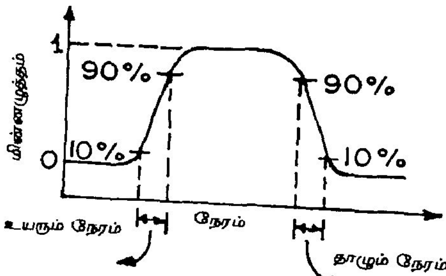
பயன்படுத்தப்படும் மின்குழாய்களின் எதிர்மின்வாய்களிலிருந்து எலக்ட்ரான்கள் ஒழுங்கற்ற வீதத்தில் வெளிப்படுவதால் விளையும் மின்குழாய் இரைச்சல், உயர் மின்னழுத்த நிவர்த்திப்பான்களிலிருந்து வரும் முரல்ஒலி போன்றவற்றாலும் ஏற்படுகிறது. இந்த இரைச்சல் மின்மிகைப்பியின் பெருக்கத்திற்கும், அதன் பெருக்குத்திறனுக்கும் ஒரு வரம்பினை ஏற்படுத்துகிறது. உள்ளிடு மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படாத நிலையிலும், மின்மிகைப்பியின் இரைச்சல் எனப்பட்ட வெளிபடு மின்னழுத்தம் கிடைக்கிறது. உள்ளிடு மின்னழுத்தம் மிகக் குறைவாக இருக்கும்போது வெளிபடு மின்னழுத்தம் எதனால் ஏற்பட்டது என்பதை உறுதியாகச் சொல்ல முடியாது. மேலும் மின்மிகைப்பிகளின் துவக்க நிலையில் உண்டாகும் இரைச்சல், மின்மிகைப்பியின் அனுமதிக்கும் அலைவரிசைக் குள்ளிட்ட அலைவெண்களைப் பொதுவாக, பெருக்குத்திறன் எவ்வளவுக்கெவ்வளவு அதிகமாக இருக்கிறதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு வெளிப்படும் இரைச்சலும் அதிகமாக இருக்கும்.

218 உயரும் நேரம் (Rise time)

ஓர் எண்ணியல் சைகை (digital signal) உடனுக்குடன் மாறுவதாகத் தோன்றும். ஆனால் ஒரு நிலையிலிருந்து அடுத்த நிலைக்கு அது சீராகவே மாறும். ஈரிலக்க (binary) எண்ணியல் சைகையை எடுத்துக் கொண்டால் இந்தச் சீரான மாற்றமானது இரண்டு முறைமை நிலைகளுக்கிடையே ஏற்படுகிறது. இது படம்–1–ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஓர் ஈரிலக்க எண்ணியல் சைகையைக் கையாளும்போது அது முறைமை–1, முறைமை–0 நிலைகளுக்கிடையே எவ்வளவு விரைவில் மாறும் என்று அறிவதே மிகவும் முக்கியமானது. ஓர் ஈரிலக்க எண்ணியல் சைகையானது மிகவும் மெதுவாக மாறு மானால் அது தவறான முடிவையே கொடுக்கும். ஈரிலக்க எண்ணியல் சைகை யானது முறைமை–0 நிலையிலிருந்து முறைமை–1 நிலைக்கு மாறுவதற்கு எடுத்துக் கொள்ளும் நேரத்தை உயரும் நேரம் என்கிறோம. முறைமை–0 மின்னழுத்தத் திற்கும் முறைமை–1 மின்னழுத் தத்திற்கும் உள்ள வேறுபாட்டை ஒரு நிலையிலிருந்து மறுநிலைக்கு மாறும்போது கடக்க வேண்டிய மின்னழுத்தமாகக் கொள்கிறோம். நடை முறையில் இந்த மின்னழுத்த வேறுபாட்டில் 10 விழுக்காட்டிலிருந்து 90 விழுக்காட்டிற்கு மாறுவதற்கு எடுத்துக் கொள்ளும் நேரமே உயரும் நேரமாகும். விரிவு படுத்தப்பட்ட ஒரு அலைவு நேரம் படம் – 2ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 1



படம் 2

தாழும் நேரம் என்பது முறைமை–1–லிருந்து முறைமை–0–க்கு மாறுவது என்பதைத் தவிர, தாழும் நேரமும் உயரும் நேரமும் ஒன்றே. சில நேரங்களில் அலைவடிவம் முறைமை–1, முறைமை–0 நிலைகளையும் கடந்து செல்லும். ஆகையால் 10%–லிருந்து 90%–வரை என்று கொண்டால் மாற்றங்களினால் ஏற்படும் தவறுகளைத் தவிர்த்து சரியான உயரும் நேரத்தைக் கணக்கிடலாம். ஓர் ஈரிலக்க எண்ணியல் சைகையின் உயரும் நேரமும், தாழும நேரமும் மிகவும் குறைவாக இருக்கவேண்டும். அப்படியில்லாமல் மிக அதிக

நேரத்தை எடுத்துக் கொள்ளுமானால் இந்தச் சைகையினால் இயக்கப்படும் முறைமை, நுழைவாயிலில் தவறான வெளியீடுகளைக் கொடுக்கும்.

219 **ஊட்டப்படுத்தல்** (Doping)

ஓர் உள்ளார்ந்த குறைகடத்தியில் வேற்றுப் பொருட்களைச் சேர்க்கும் முறையை ஊட்டப்படுத்தல் என்கிறோம். ஒரு சிலிக்கான் படிகத்தில், அனைத்து அணுக்களும் சிலிக்கான் அணுக்களாகவே இருந்தால் அது உள்ளார்ந்த குறைகடத்தி (Intrinsic semi-conductor) எனப்படும். உள்ளாாந்த குறைகடத்தியில், மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்தத் தேவையான எண்ணிக்கையில் கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்கள் (free electrons) மற்றும் மின்துளைகள் (holes) இருப்பதில்லை. இம்மின்னூட்ட கடத்திகளின் (charge carriers) எண்ணிக்கையை உயர்த்தும் வகையில் ஒரு உள்ளார்ந்த குறைகடத்தியில் வேற்றுப் பொருட்களை (impurities) சேர்க்கும் முறை, ஊட்டப்படுத்தல் (doping) எனப்படும். சிலிக்கான் நான்கு இணைதிறன் கொண்டது. அது ஐந்து இணைதிறன் கொண்ட வேற்றுப் பொருட்களால் ஊட்டப்படுத்தப்படும்போது, கட்டற்ற எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை மிகுதியாகிறது. இவ்வாறு உருவாகும் புறவியல் (extrinsic) குறைகடத்தி, N-வகை குறைகடத்தி ஆகும். N-வகை குறைகடத்தியில் உள்ள வேற்றுப் பொருட்கள் கொடை வேற்றுப் பொருட்கள் எனப்படும். மூன்று இணைதிறன் கொண்ட வேற்றுப் பொருட்களால் ஊட்டப்படுத்தப்படும்போது, மின்துளைகளின் எண்ணிக்கை மிகுதியாகிறது. இவ்வாறு உருவாகும் புறவியல் குறைகடத்தி, P-வகை குறைகடத்தி ஆகும். P-வகை குறைகடத்தியில் உள்ள வேற்றுப்பொருட்கள் ஏற்பி வேற்றுப் பொருட்கள் எனப்படும்.

220 **ஒளி உமிழும் டையோடுகள்** (LEDS)

எலக்ட்ரான் துளை இரட்டைகளை (electron-hole pair) உண்டாக்க எவ்வாறு ஆற்றல் தேவைப்படுகிறதோ, அதேபோன்று எலக்ட்ரான் துளையுடன் சேரும்போது ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது. சிலிக்கான், ஜெர்மேனியம் போன்ற குறைகடத்திகளில் இவ்வகையான சேர்க்கை நிகழும்போது வெளிப்படும் ஆற்றல் அந்தப் படிகங்களில் வெப்பத்தை அதிகரிக்கிறது. காலியம் ஆர்சினைடு போன்ற குறைகடத்திகளில் நேரடியாக எலக்ட்ரான்–துளைகள் ஒன்றுசேரும்போது குறிப்பிடத்தக்க அளவில் ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது. இந்நிலையில் ஒரு எலக்ட்ரான் கடத்தல் நிலையிலிருந்து வேலன்சு பட்டைக்குத் தாவும்போது ஆற்றல் கதிர்வீச்சாக வெளியேறுகிறது. நேர் மின்னோட்டம் முன்னோக்கு திசையில் காலியம் ஆர்சினைடு பாசுபைட் (Galium arsenide phosphite) போன்ற குறைகடத்திகளின் வழியே ஒரு P-N சந்தியில் செல்லும்போது எலெக்ட்ரான்கள் N–பகுதியிலிருந்து P பகுதியில் உள்ள துளைகளுடன் ஒன்று சேர்ந்து ஏற்படும் ஆற்றல் கண்ணுக்குப் புலனாகும் (visible region) ஒளியாக வெளிப்படுகிறது. இத்தகைய PN சந்தி டையோடுகளை (diode) ஒளி உமிழும் டையோடுகள் என்கிறோம். இந்த ஒளி உமிழும் திறன் மின்னோட்டத்தின் அளவு அதிகமானதாகவும், வெப்பநிலை குறைவாக இருக்கும்போதும் அதிகரிக்கிறது. இவற்றின் சராசரி ஆயுள் 10,000 மணி நேரங்கள் ஆகும். சிவப்பு, பச்சை, மஞ்சள் மற்றும் ஆரஞ்சு நிறங்களில் ஒளியை வெளிவிடக் கூடிய ஒளி உமிழும் டையோடுகள் புழக்கத்தில் உள்ளன.

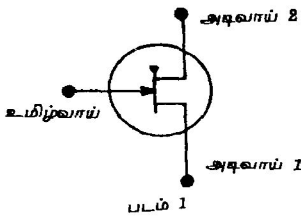
221 **ஒளி சார்ந்த மின்தடைகள்** (LDRS)

கேட்மியம் சல்பைடு போன்ற ஒளி உணர்ச்சி (photo sensitive) உள்ள பொருளைச் சேர்த்து செய்யப்பட்ட மின்தடைகள், தம்மீது ஒளியே படாமல் இருட்டில் இருக்கும்போது, சுமார் 2 முதல் 5 மெகா ஓம் மின்தடை கொண்டனவாகவும், அதிக சுடரான ஒளி படும்போது சுமார் 150 ஓம் மின் தடை கொண்டனவாகவும் அமைகின்றன. படும் ஒளியின் சுடர் மாற மாற மின் தடை மதிப்பும் மாறும். ஒளியை கண்டுபிடிக்கவும் அதை அளவிடவும் பல்வேறு கருவிகளில் இத்தகைய மின்தடைகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. படும் ஒளியைச்

சார்ந்து மின்தடை மதிப்பு மாறி அமைவதால் இத்தகைய மின்தடைகள் ஒளி சார்ந்த மின்தடைகள் எனப்படுகின்றன.

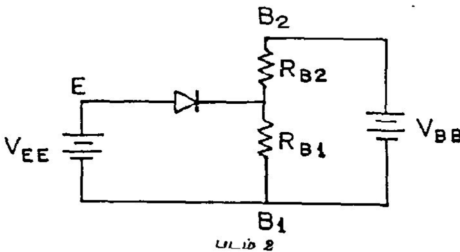
222 ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டர் (Uni-junction transistor)

ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டர், ஒரு P-N சந்தியும், இரண்டு அடிவாய்ப்பகுதிகளும், மூன்று முனைகளும் கொண்ட அமைப்பாகும். இதில் ஒரே ஒரு சந்தியும், மூன்று முனைகளும் இருப்பதால் இப்பெயரைப் பெற்றது. இரண்டு அடிவாய்ப் பகுதிகளும், ஒரு P-N சந்தியும் இருப்பதால், இது இரட்டை அடிவாய் டையோடு என்றும் அழைக்கப் படுகிறது. ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டரை படம்-1-ல் காட்டியபடி சுற்றில் அடிவாய்கள் இரண்டு இணைப் பின்றி இருக்கும் போது அடிவாய்-1ம், உமிழ்வாயும் வழக்கமான ஒரு டையோடாகவும், அடிவாய்-1 இணைப்பின்றி இருக்கும்போது, அடிவாய்-2ம் உமிழ்வாயும் ஒரு டையோடாகவும் செயற்படும். இரு அடிவாய்களும் இணைக்கப்பட்டால் இந்த இணைப்பும், உமிழ்வாயும் ஒரு டையோடாகச் செயற்படும். உமிழ்வாய் இணைப் பின்றி இருக்கும்போது இரண்டு அடிவாய்களுக்கிடையே ஒரு மின்னழுத்தம் கொடுக்கப் பட்டால் இது ஒரு இயல்பான மின்தடையைப் போல் செயற்படும். இரண்டு அடிவாய்களுக் கிடையே ஒரு மின்னழுத்தமும், அடி- வாய்க்கும் உமிழ்வாயுக்கும் இடையே உரிய திசையில் படம்-2-ல் காட்டியுள்ளதுபோல் ஒரு மின்னழுத்தமும் கொடுக்கப்பட்டால், இது ஓர் ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டராகச் செயற்படும்.



படம் 1

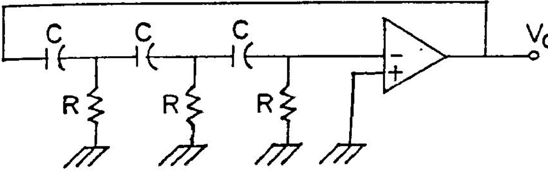
முதல் அடிவாய்ப் பகுதி B_1க்கும் இரண்டாம் அடிவாய்ப்பகுதி B_2க்குமிடையே கொடுக்கப்படும் மின்னழுத்தம் V_{BB} அடிவாய்-1-க்கும், அடிவாய்-2க்கு மிடையே ஒரு சீரான மின்னழுத்த வீழ்ச்சியைத் தோற்றுவிக்கும். P-N சந்தி அடிவாய்-1-க்கும் அடி- வாய்-2-ககுமிடையே அமைந்திருப்பதால அதன் கேத்தோடு முனையில் மின்னழுத்தம் ஏறபட டு P-N சந்தியில் திருப்பிய சார்பை (bias) ஏற்படுத்தும். உமிழ்வாய் மின்னழுத்தம் V_{EE} இந்தத் திருப்பிய சார்பு மின்னழுத்தத்தைவிட அதிகரிக்கும் போது P-N சந்தி முன்னோக்கிய சார்பைப் பெறும். உடன் உமிழ்வாயுக்கும், அடிவாய்-1-க்குமிடையே மின்னோட்டம் மிக விரைவில் பெருமளவு உயர்ந்து, உமிழ்வாய் அடிவாய்-1-க்கிடையே மின்தடை திடீரென்று குறைந்து, அதே நேரத்தில் மின்னழுத்தமும் குறைகிறது. தற்போது ஒன்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டர் எதிர் மின்தடையை (negative resistance) காட்டுகிறது. இந்த எதிர் மின் தடையைக் காட்டும் தன்மைதான் ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டரின் சிறப்புக் குணத்திற்குக் காரணமாகும். ஓர் ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டரை ஓர் இரம்பப் பல் வடிவ (Saw tooth) அலையைத் தோற்றுவிக்கவும், பல்லதிர்வியாகவும், (multi vibrator) இணைப்பியாகவும், (coupler) இயக்கியாகவும் பயன்படுத்தலாம்.



படம் 2

223 கட்டப் பெயர்ச்சி அலை இயற்றி (Phase - shift oscillator)

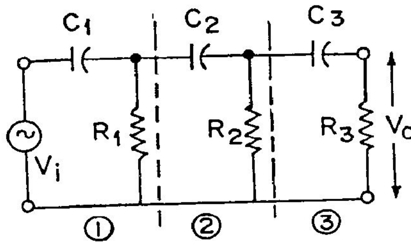
இது RC கட்டப் பெயர்ச்சி மின்சுற்றை, பின்னூட்ட மின்சுற்றாகப் பயன்படுத்தும் அலை இயற்றி. கட்டப் பெயர்ச்சி மின்சுற்று மூன்று RC பகுதிகளைக் கொண்டது. மூன்று RC பகுதிகளும் சேர்ந்து வெளியீடு மற்றும் உள்ளீடுகளுக்கிடையே 180° கட்ட வேறுபாட்டை ஏற்படுத்தும். பெருக்கியில் இயல்பாகவே வெளியீடு மற்றும் உள்ளீடுகளிடையே 180° கட்ட வேறுபாடு தோன்றும். மொத்தமாக வெளியீடு மற்றும் உள்ளீடுகளுக் கிடையே 360° கட்ட வேறுபாடு (0° கட்ட வேறுபாட்டிற்கு சமானமானது) உருவாகிறது.



இதனால் நிலை அலைவுகள் (sustained oscillations) உருவாகின்றன. $f = (1/(2\pi\sqrt{6}RC))$ என்ற குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணிற்கு மட்டுமே அலைவுகள் தோன்றுகின்றன. பின்னூட்ட மின்சுற்று 1/29 பகுதி உள்ளீடு மின்னழுத்தத்தையே வெளியீட்டில் தருகிறது. இதனால் பெருக்கியின் பெருக்குத் திறன் 29-ஐ விட கூடுதலாக இருந்தால் மட்டுமே அலைவுகள் தோன்றும். எனவே 29-க்கு மேற்பட்ட பெருக்குத் திறன்களைக் கொண்ட டிரான்சிஸ்டர்களையே இந்த அலை இயற்றியில் பயன்படுத்த வேண்டும்.

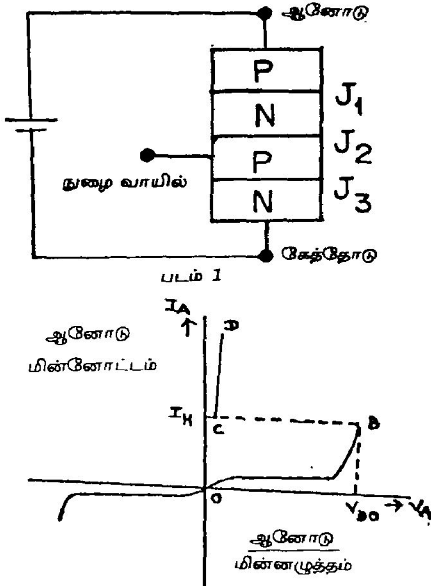
224 கட்டப் பெயர்ச்சி மின்சுற்று (Phase-shift network)

இது ஒரு RC பின்னூட்ட மின்சுற்று. இதை ஒரு பெருக்கியுடன் சேர்த்து, அலை இயற்றியை உருவாக்கலாம். ஒரு பெருக்கியின் வெளியீடு மற்றும் உள்ளீடு மின்னழுத்தங்களிடையே 180° கட்ட வேறுபாடு இயல்பாகவே தோன்றும். மேலும் 180° கட்ட வேறுபாட்டை இம்மின்சுற்று ஏற்படுத்துகிறது. இதனால் மொத்தக் கட்ட வேறுபாடு 360° (0°)க்கு சமானமானது (equivalent) உருவாகிறது. இது நிலை அலைவுகளை (Sustained oscillations) உருவாக்குகிறது. இம்மின் சுற்றில் பல RC பகுதிகளைப் பயன்படுத்தலாம். ஆனால் மூன்றிற்கு மேற்பட்ட RC பகுதிகளைப் பயன்படுத்துவதால் எந்தவித கூடுதல் பயனும் விளைவதில்லை என அறியப் பட்டுள்ளது. ஆகவே, மூன்று RC பகுதி களைக்கொண்ட கட்டப் பெயர்ச்சி மின்சுற்றே பொதுவாகப் பயன்படுத்தப் படுகின்றது. ஒவ்வொரு RC பகுதியும் 60° கட்ட வேறுபாட்டை ஏற்படுத்தும். மூன்று பகுதிகளும் சேர்ந்து 180° கட்ட வேறுபாட்டை ஏற்படுத்தும். $f = (1/(2\pi\sqrt{6}RC))$ என்ற சமன்பாட்டால் பெறப்படும் அதிர்வெண்ணிற்கு மட்டுமே கட்ட வேறுபாடு 180° ஆகும். கட்டப் பெயர்ச்சி அலை இயற்றியில் இது பின்னூட்ட சுற்றாகப் பயன்படுகிறது.



225 கட்டுப்படுத்தப்பட்ட சிலிக்கான் அலைதிருத்தி (Silicon controlled rectifier)

சிலிக்கான் என்ற குறைகடத்தியினால் மட்டுமே உருவாக்கப்படும் குறைகடத்திக் கருவி இது. தைரிஸ்டர்கள் எனப்படும் நான்கு அடுக்குக் குறைகடத்திக் கருவிகளில் இதுவும் ஒன்று. இது செயல்படும் முறையில் தைரேட்ரான் குழாய்க்கு இணையானது. இதில் P வகை சிலிகான் குறைகடத்தியும், N வகை சிலிக்கான் குறைகடத்தியும் மாறிமாறி P-N-P-N என்ற நான்கு அடுக்குகளாக வருகின்றன. படம்–1ல் காட்டியுள்ளபடி ஆனோடு, கேத்தோடு, நுழைவாயில் என்ற மூன்று முனைகளும், J_1, J_2, J_3 என்ற மூன்று சந்திகளும் உள்ளன. இதன் ஆனோடை நேர்மின் அழுத்தத்தோடும், கேத்தோடை எதிர்மின்னழுத்தத்தோடும்



படம் 1

I_H - முறிவு மின்னோட்டம்

V_{Bo}- முன்னோக்கிய மின்னழுத்த முறிவு

படம் - 2

இணைத்தால், J_1, J_3 சந்திகள் முன்னோக்கு மின் அழுத்தத்தோடும், J_2 பின்னோக்கு மின் அழுத்தத்தோடும் இருக்கும். எனவே மின்சுற்றில் பின்னோக்கிய சார்பிலுள்ள தெவிட்டிய மின்னோட்டம் ஓடும். இந்த நிலை அலைதிருத்தி செயற்படா நிலைக்கு (off state) சமமாகும். ஆனோடுக்கும், கேத்தோடுக்குமிடையே மின்னழுத்தத்தை அதிகப்படுத்தினால் விரை வில் மின்சுற்றில் மின்னோட்டம் அதிகரிக்கிறது. திடீரென்று மின்திருத்தியின் உள்மின்தடை மிகவும் குறைகிறது. இதனால் முறிவு மின்னழுத்தம் (break down voltage) ஏற்பட்டு மின்னோட்டம் அதிகரித்து, அதே சமயம் மின்னழுத்தம் குறைகிறது. அதுபோது மின் திருத்தி எதிர் மின்தடையை (negative resistance) காட்டுகிறது. ஒரு கட்டுப்படுத்தப்பட்ட சிலிகான் அலைதிருத்தியின் சிறப்பியல்பு வளைகோடு, நுழைவாயில் மின்னோட்ட மில்லாத நிலையில் படம்–2–ல் காட்டப் பட்டுள்ளது.

ஆனோடுக்கு கேத்தோடுக்கு மிடையே கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தம் முன்னோக்கிய முறிவு மின்னழுத்தத்திற்கு அதிகமானால், மின்திருத்தியின் மூலம் மிக அதிக மின் னோட்டம் ஏற்படும். முன்னோக்கிய முறிவு மின்னழுத்தம் (forward voltage break down) நுழைவாயில் மின்னோட்டத்தைப் பொறுத்து அமையும். கேத்தோடுக்கும், நுழை வாயிலுககுமிடையே ஒரு பொருத்தமான மின்னழுத்தம் கொடுப்பதன் மூலம் அலை திருத்தியைச் செயற்படா நிலையிலிருந்து (படத்தில் OA) மிகுந்த மின்னோட்டம் ஓடும் செயற்படும் நிலைக்கு (படத்தில் CD) கொண்டு செல்லாம். முறிவு ஏற்பட்டபின், நுழைவாயில் மின்னோட்டத்தால் ஆனோடு மின்னோட்டத்தைக் கட்டுப்படுத்த முடியாது. கட்டுப்பாடு உண்டாக்க ஆனோடு மின்னோட்டத்தை முறிவு மின்னோட்டம் I_H–க்குக் குறைவாகக் குறைத்து விடவேண்டும் அல்லது ஆனோடு மின்னழுத்தம் எதிர் மின்னழுத்தமாக வேண்டும். கட்டுப்படுத்தப்பட்ட சிலிக்கான் அலைதிருத்தி மிக அதிக மின்னோட்டத்தைக் கையாளக் கூடியது. ஆகையால் அது ஆற்றல் அலைதிருத்தி சுற்றுகளில் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

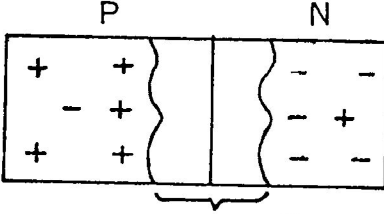
226 கணக்கீடு தர்க்கப் பகுதி (ALU)

ஒரு கணிப்பொறியின் மிக முக்கியமான மத்திய முறைப் படுத்தும் பகுதி (CPU) யின் ஒரு பகுதியாகக் கணக்கீடு தர்க்கப் பகுதி உள்ளது. இது கூட்டல், கழித்தல், பெருக்கல், வகுத்தல் போன்றவற்றைச் செய்து, அதன் விடைகளை அதிலேயே உள்ள விரைவு நினைவுப் பகுதியான சிறிய பதிவேடுகளில் (fast memories - small register) சேமிக்கிறது. இந்த நினைவுப் பதிவேடுகளின் அளவைப் பொருத்து எவ்வளவு பெரிய எண்களைக் கணக்கிட எடுத்துக் கொள்ளலாம் என்பதை முடிவு செய்ய முடியும். ஒரு பிட் (bit) என்பது நிலை 0 அல்லது நிலை 1–ஐ குறிக்கும். கணிப்பொறிக்கு உள்ளீடு எண்களும், முகவரிகளும் தொடர்ச்சியான ஈரடி எண்களாகக் (strings of binary digits) கொடுக்கப்படுகின்றன. இந்த ஈரடி எண்கள் 8, அல்லது 16, அல்லது 32, அல்லது 64 பிட்டுகள் கொண்ட சொற்களாக, ஒவ்வொரு கணிப்பொறியிலும் அதன் வேகம் மற்றும் நினைவாற்றலைப் பொருத்து அமையும். அதன் வேகமும், நினைவாற்றலும் மிக அதிகமரனால் சொல் 132 பிட்டுகள் கொண்டதாக அமையும். இத்தகைய அதிவேக கணிப்பொறியில் மிகப் பெரிய

எண்களைக் கணக்கிட எடுத்துக்கொண்டு விடைகளை மிக விரைவாகத் தரக்கூடிய வகையில் அமையும். இவற்றுடன் உள்ள தர்க்கப்பகுதி இரண்டு எண்களைக் ஒப்பிட்டுப் பார்த்து அவை இரண்டும் சமமானதா, எதைவிட எது பெரிய எண் அல்லது சிறிய எண் என்பதைக் கண்டறியப் பயன்படுகிறது. இத்தகைய செயல்கள் எல்லாம் நானா (10^{-9}) அல்லது மைக்ரோ (10^{-6}) வினாடி நேரத்திலேயே முடிவடைகிறது.

227 PN சந்தி (PN-Junction)

PN சந்தி, P-வகை மற்றும் N-வகை குறைகடத்திகளை ஒன்றாக இறுக்குவதால் (pressed) ஏற்படும் இடை முகப்புத் தளம் (interface) அல்ல. மாறாக, அது ஒரு புறம் கொடை வேற்றுப் பொருட்களை (donor impurities) மிகுதியாகவும், மறுபுறம் ஏற்பி வேற்றுப் பொருட்களை (acceptor impurities) மிகுதியாகவும் கொண்ட ஒற்றை பாளப்படிக அணிக்கோவை (single piece of crystal lattice) ஆகும்.



ஒரு PN-சந்தி உருவாகும்போது, கடத்து எலக்ட்ரான்கள் N-வகையிலிருந்து P-வகையை நோக்கி விரவுகின்றன. மின்துளைகள், P-வகை யிலிருந்து N-வகையை நோக்கி விரவு கின்றன. இதனால் சந்தியை ஒட்டிய பகுதியில், எலக்ட்ரான்–மின்துளை மீள் இணைவு (re-combination) ஏற்படுகின்றது. P-வகை எதிர் மின்னூட்டமும், N-வகை நேர் மின்னூட்டமும் பெறுகின்றன. சந்தியை ஒட்டிய P,N-வகைப் பகுதிகளில் கடத்து எலக்ட்ரான்களும், மின்துளைகளும் முற்றிலும் நீக்கப்படுவதால், அப்பகுதி வெறுமைப்பகுதி (depletion region) எனப்படுகிறது.

ஒரு மின்கலத்தின் நேர்மின்முனை, PN சந்தியின் P வகையுடனும், எதிர் மின்முனை N வகையுடனும் இணைக்கப்பட்டால், எலக்ட்ரான்கள் மற்றும் மின்துளைகள் சந்தியைக் கடந்து, மின்சுற்றில் பெருமளவு மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்தும். இந்த மின்கல இணைப்பு நேர் சார்பு (forward bias) எனப்படும். மின்கல இணைப்பு எதிர்திசையில் கொடுக்கப்பட்டால், கடத்து எலக்ட்ரான்களும் மின்துளைகளும் சந்தியை விட்டு விலகி ஓடுவதால், மின்சுற்றில் மின்னோட்டம் பாய்வதில்லை. இவ்வகை மின்கல இணைப்பு, எதிர்சார்பு (reverse bias) எனப்படும். PN சந்தியின் ஒரு திசை கடத்தும் பண்பு, அதனை அலை திருத்தியாகப் பயன்படுத்த உதவுகிறது.

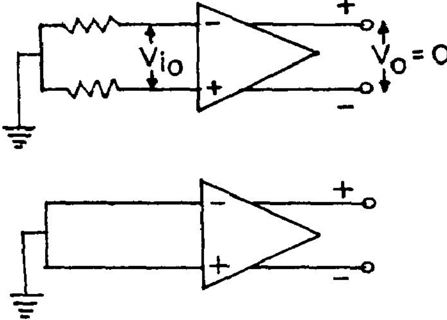
228 கன் டையோடு (Gunn diode)

ஒரு சில குறைகடத்திப் பொருட்களில் மின்புலத்தை அளித்து எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றலை அதிகரித்து அவற்றை மின் கடத்தும் பட்டையின் (conduction band) மத்தியப் பகுதியிலிருந்து துணைப் பகுதிகள் (satellite regions) என்று அழைக்கப்படுகின்ற அதிக ஆற்றல் மிக்க பகுதிகளுக்கு மாற்ற முடியும். இந்த எலக்ட்ரான் மாற்றத்தினால் ஒரு சில பட்டைக் கட்டமைப்புகளில் எதிர்மறை மின்கடத்தல் (negative conductivity) நிகழ்கிறது. கடத்தும் பட்டையின் மையப்பகுதியோடு ஒப்பிடும்போது இந்த அதிக ஆற்றல் மிகுந்த துணைக் கடத்தும் பட்டைப் பகுதிகளில் உள்ள எலக்ட்ரான்களின் விளைவுறு நிறை (effective mass) மிக அதிகமாகவும், நகர்திறன் (mobility) மிகக் குறைவாகவும் உள்ளன. இந்த இட மாற்றத்தினால், ஒரு குறிப்பிட்ட மின்புல எல்லைக்குள் எலக்ட்ரான்கள் அதிக ஆற்றலைப் பெறும்போது அவற்றின் திசைவேகம் குறைகிறது. மின்புலம் ஒரு குறிப்பிட்ட வரையறைக்குள் அதிகரிக்கும்போது மின்னோட்டம் குறைந்து எதிர்மறை வேறுபாட்டளவையியல் மின்கடத்தல் (differential conductivity) நடைபெறுகிறது. எதிர்மறை மின்னோட்டம் நடக்குமாறு மின்புலம் ஏற்படும் வகையில் Ga As போன்ற பொருட்களுக்கு மின்னழுத்தம் அளிக்கும்போது சூழ்மின் (space charge) அடிக்கடி மாறும் இயல்பை

அடைகிறது; அதனால் இக்கருவியை ஒரு நிலையான ஒருதிசை மின்னோட்ட மட்டத்தில் (D.C. level) வைக்க இயலாது. சூழ் மின்னோட்டத்தின் ஏற்ற இறக்கத்தினால் (fluctuations) மின் இருமுனை அடுக்கு (dipole layer) உருவாகிறது. எதிர்மறை மின் கடத்தலினால் ஒரு முனையில் உள்ள மின் பெருகுகிறது. எதிர்மின் வாயிலிருந்து நேர்மின் வாயை நோக்கி நகரும் எலக்ட்ரான் ஓட்டத்தில் இந்தப் பெருக்கம் ஏற்படுகிறது. மின் இருமுனை வளர்ந்து கொண்டே எலக்ட்ரான் ஓட்டத்தில் நகர்ந்து செல்கின்றது. இறுதியில் இம்மின் இருமுறை நேர்மின் வாயை அடைந்து வெளிச்சுற்றில் மின்னோட்டத் துடிப்பு வடிவில் தனது ஆற்றலை வெளியிடுகிறது. அதிகப் பண்பு சார்புடைய (high Q - value) மைக்ரோ அலை ஒத்ததிர்வுப் பொந்துகளில் (resonant microwave cavities) எதிர்மறை மின்கடத்தும் ஆற்றல் கொண்ட கருவிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

229 சமன் செய்யா மின்னழுத்தம் (Off set voltage)

ஒரு லட்சிய இங்குரு பெருக்கியின் உள்ளீடுகள் $V_1 = V_2$. ஆனால் அதன் வெளியீடு $V_0 = 0$ ஆக இருக்கும். இரண்டு உள்ளீடுகளுக்கும் உள்ள டிரான்சிஸ்டர்களின் தன்மை சிறிதளவாவது மாறுபட்டிருக்கும். இந்தச் சரியிலாப் பொருத்தம் (mismatch) காரணமாக சமனில்லாப் பயசு (Bias) மின்னோட்டங்கள் உள்ளீடு வாயில்கள் வழி ஓடுவதற்கு ஏதுவாகிறது. பெருக்கியின் வெளியீட்டைச் சரி செய்ய உள்ளீடு பகுதியில் மின்னழுத்தம் தேவைப் படுகிறது. இது இரண்டு வகைப்படும்:

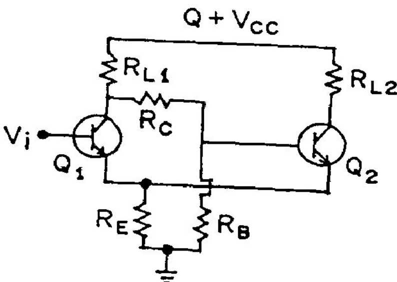


(i) உள்ளீடு சமன் செய்யாத மின்னழுத்தம் (input offset voltage) : இயங்குறு பெருக்கியின் வெளியீடு V_0 சுழியாக அமைய உள்ளீடுகளுக்கிடையே செலுத்தப்பட வேண்டிய V_{io}ஐ உள்ளீடு சமன் செய்யாத மின்னழுத்தம் என்கிறோம்;

(ii) வெளியீடு சமன் செய்யாத மின்னழுத்தம் (output offset voltage); இயங்குரு பெருக்கியின் இரண்டு உள்ளீடு வாயில்களும் தரையிடப்பட்டு இருக்கும்போது, இரண்டு வெளியீடுகளுக் கிடையில் அல்லது அதன் ஒரு வெளியீட்டுக்கும் தரையிணைப்பிற்கும் இடையில் நிலவும் நேர் மின்னழுத்தத்தை வெளியீடு சமன் செய்யாத மின்னழுத்தம் என்கிறோம். ஓர் இயங்குறு பெருக்கி திறமையாகச் செயற்பட இந்த சமன் செய்யாத மின்னழுத்தங்களை சமன்செய்யும் (balancing circuits) மின்சுற்றுகளைப் பயன்படுத்துகிறோம்.

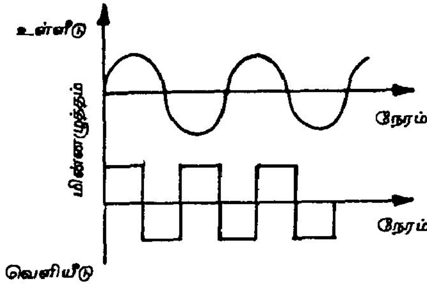
230 சிமிட் இயக்கி (Schmitt trigger)

சிமிட் இயக்கியானது பல்லதிர்வி (multivibrator) வகையைச் சார்ந்தது. சிமிட் இயக்கியில் பல்லதிர்விச் சுற்றின் இரண்டு நிலையான நிலைகளில் ஒரு நிலை உளளீட்டின் மின் அளவினைப் பொறுத்து இருக்கும. இது இரு நிலைப்பாடுடையது. இதில் இரண்டு டிரான்சிஸ்டர் இணைப்பிகள் மேம் படுத்தும் வகையில் இணைக்கப் பட்டுள்ளன. ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் சேமிப்பான் அடுத்த டிரான்சிஸ்டரின் அடிவாயுடன் இணைக்கப் பட்டுள்ளது. ஆனால் மற்ற டிரான்சிஸ்டரின் இணைப்பானது டிரான்சிஸ்டரின் உமிழ்வாய் மூலம் இணைக்கப் பட்டுள்ளது. இதனால் முதல் டிரான்சிஸ்டரின் அடிமுனையானது உள்ளீடு சைகைகளை இணைக்கப் பயன்படுகிறது. சிமிட்



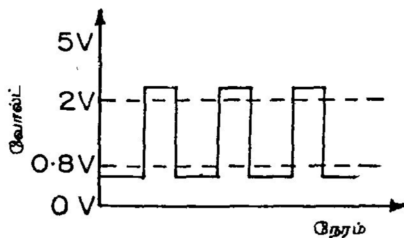
இயக்கியின் வெளியீடு அதன் உள்ளிடு மின்னழுத்தம் ஒரு குறிப்பிட்ட நிலைக்கு மேலா அல்லது கீழா என்பதைப் பொறுத்திருக்கிறது.

ஒரு சிமிட் இயக்கியின் படம் காட்டப்பட்டுள்ளது. டிரான்சிஸ்டர் Q_1ன் சேமிப்பான் டிரான்சிஸ்டர் Q_2ன் அடிமுனையுடன் உமிழ்வாய் பின்னூட்ட மின்தடை R_E மூலம் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. குறைந்த உள்ளிடு மின்னழுத்தம் கொடுக்கும்போது Q_1 முட்டு நிலையையும், Q_2 கடத்தும் நிலையையும் அடைகின்றன. இதைச் சுமைகள் R_{L1}, R_{L2} மூலம் அறியலாம். R_Eயில் ஏற்படும் மின்னழுத்தக் குறைவானது Q_2-ன் மின்னோட்டத்தின் மூலம் நிகழ்கிறது. உள்ளீடாகக் கொடுக்கப்பட்ட ஒரு நேர் மின்னழுத்தச் சைகை Q_1-ன் பின்னோக்கிய பயாசிற்கு அதிகமாகும்போது Q_1 மின்னோட்டத்தைக் கடத்தத் தொடங்குகிறது. Q_1–ன் சேமிப்பான் R_c மூலம் Q_2–ன் அடிவாயுடன் இணைக்கப் பட்டுள்ளதால் ஏற்படும் மின்னழுத்தக் குறைவானது Q_2வை முட்டு நிலைக்குத் தள்ளுகிறது. ஒரு தேவையான அளவு உள்ளீடு மின்னழுத்தம் Q_1–ன் அடிவாயில் இருக்கும்வரை இதே நிலை நீடிக்கிறது. உள்ளீடு சைகை குறையும்போது Q_1 முட்டு நிலையையும், Q_2 கடத்தும் நிலையையும் அடைகின்றன. முட்டு நிலையை ஏற்படுத்தும் மின்னழுத்தமும், கடத்தும் நிலையை ஏற்படுத்தும் மின்னழுத்தமும் ஒன்றாக இல்லை. இது மின்னழுத்தத்திற்கும் மின்னோட்டத்திற்கும் இடையேயுள்ள ஒழுங்கற்ற மாற்றங்களின் விளைவினால் ஏற்படுகிறது. முட்டுநிலை மின்னழுத்தம் எப்போதும் கடத்தும்நிலை மின்னோட்டத்திற்குக் குறைவாக இருக்கும். இந்த இரு நிலைகளுக்கிடையே உள்ள வேறுபாடானது இந்த இயக்கியின் தயக்கம் (hysteresis) என்று கூறப்படும். இதை மிகக் குறைவாகவோ அல்லது முற்றிலும் இல்லாமலோ, சிறிய மின்தடைகளை உமிழ்வாயுடன் இணைப்பதன் மூலம் செய்யலாம். ஒரு சைன் அலை உள்ளிடாக சிமிட் இயக்கியில் கொடுக்கும் போது படத்தில் காட்டியுள்ளபடி வெளியீடு ஒரு சதுர அலையாகும்.



231 செயல் அலைவு (Duty cycle)

எண்ணியல் மின்னணுவியலில் நாம் மின்னழுத்த அலைவடிவத்தை (voltage wave form) உபயோகப் படுத்துகிறோம். அது நேரத்தோடு ஏற்படும் சைகை மாற்றத்தை எடுத்துக் காட்டுகிறது. ஒரு எண்ணியல் சைகையானது ஏதாவது ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஒரு முழுமையான மின்னழுத்தத்திற்குச் சமமாக இருக்கும். ஈரிலக்க எண்ணியல் சைகை குறிப்பிட்ட இரண்டிலொரு மின்னழுத்தத்திற்குச் சமமாக இருக்கும். இந்த இரண்டு மின்னழுத் தங்களில் ஒன்றை முறைமை–1 என்றும், மற்றதை முறைமை–0 என்றும் கூறுகிறோம்.



ஈரிலக்க எண்ணியல் சைகையின் எடுத்துக்காட்டாகப் படத்தில் ஓர் அலைவடிவம் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. இதில் மின்னழுத்தம் மேல்மட்ட அளவிற்கும் கீழ்மட்ட அளவிற்கும் தொடர்ந்து மாறிக் கொண்டேயிருக்கிறது. இதன் கீழ்மட்ட மின்னழுத்தமும் மேல்மட்ட மின்னழுத்தமும் TTL தொகுப்புச் சுற்றின் சாதாரண நெடுக்கத்திற்குள் இருக்கின்றன. ஆகையால் இந்தச் சைகையானது முறைமை–1–க்கும் முறைமை–0–விற்கும் இடையே தொடர்ந்து மாறிக் கொண்டிருக்கிறது எனக் கொள்ளலாம். இந்தச் சைகையின் அமைப்பு

ஒரே மாதிரியாகவும், ஒரே சீரான பிரிவுகளுடனும் உள்ளது. இந்தச் சைகையைக் காலமடக்கு எண்ணியல் அலைவடிவம் (periodic digital wave form) என்கிறோம். செயல் அலைவு என்பது ஒரு சைகை எவ்வளவு சதவீத நேரம் முறைமை–1–ல் தங்கியுள்ளது என்பதேயாகும். ஒரு முழு அலைவில் T_1 என்பதை முறைமை–1–ல் தங்கிய நேரமாகவும், T_0 என்பதை முறைமை–0–ல் தங்கிய நேரமாகவும், T என்பதை அலைவு நேரமாகவும் கொண்டால், செயல் அலைவைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டின் மூலம் கணக்கிடலாம்:

$$\text{செயல் அலைவு} = \left(\frac{T_1}{T}\right)100.$$

$$\text{அதாவது,} \quad = \left(\frac{T - T_0}{T}\right)100.$$

ஒரு மின்னழுத்தச் சைகையானது ஒரு நிலையிலிருந்து அடுத்த நிலைக்கு உடனடியாக மாற முடியாது. இதை ஒரு சீரான பாதையைக் கடப்பதன் மூலமே செய்யக்கூடும்.

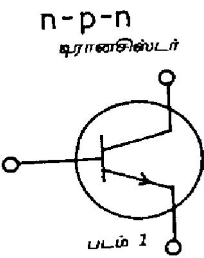
232 சைகை நிலைமாற்றி (Converter)

மின் அணுவியலில் அனலாக் எனப்படும் தொடர்ந்து மதிப்பு மாறக் கூடிய சைகைகளும் (analogue signal), ஒரு பெரும மதிப்பிற்கும், சிறும மதிப்பிற்கும் மட்டும் குறிப்பிட்ட கால இடைவெளிகளில் மாறி மாறி அமையக் கூடிய சைகைகளும் அடிக்கடி வரக்கூடியவை ஆகும். ஆகவே சில நேரங்களில் ஓர் அனலாக் சைகையை எண்குறி சைகைகளான (digital signal) எண்குறி வகையாக மாற்றக் கூடிய கருவிகளும், சில நேரங்களில் எண்குறிச் சைகைகளை, அனலாக் சைகைகளாக மாற்றக்கூடிய கருவிகளும் தேவைப்படுகின்றன. இத்தகைய கருவிகளையே சைகை நிலைமாற்றிகள் என்கிறோம். இவை இரண்டு வகைப்படும். அனலாக் சைகைகளை எண்குறிச் சைகைகளாக மாற்றககூடிய கருவியை A/D நிலை மாற்றி என்றும், எண்குறிச் சைகையை அனலாக் சைகையாக மாற்றக கூடிய கருவியை D/A மாற்றி என்றும் அழைக்கிறோம். A/D மாற்றிகள் அனலாக் உள்ளீடு மின்னழுத்தத்தை அதற்குச் சமமான மதிப்பீட்டின் அளவாக உள்ள எணகுறியீடுகளாக மாறறி வெளியிடும். இது இருவகைப்படும். ஒவ்வொரு நிலையிலும் கிட்டத்தட்ட சரியான மதிப்பை கண்டுபிடித்து, ஒவ்வொரு நிலையாக அடுத்தடுத்து செயற்படக்கூடிய அடுத்தடுத்த தோராயமான மாற்றி (successive approximation converter) மற்றும் இரட்டைச் சாய்வு மாற்றி (dual slope converter). அதேபோன்று, D/A மாற்றிகளும் இரண்டு வகைப்படும்: (i) எடையிடப்பட்ட மின்தடை மாற்றிகள் (weighted resister converter), (ii) R - 2R ஏணிப பின்னல் மாற்றி (R-2R Ladder network converter) முதல் வகையில் மின்தடை மதிப்புகள் R, 2R, 4R, 8R, ... என 2^n மடங்குகளில் அதிகரிக்கும். இரண்டாவது வகையில் R, 2R என்ற இரண்டு மின்தடைகளே ஒரு பிட் எண்குறி சைகைக்குப் போதும். எத்தனை பிட் உள்ளீடு வேண்டுமோ அத்தனை R மின்தடைகளையும் 2R மின்தடைகளையும் கொண்டு இந்த D/A மாற்றியைச் செய்யலாம். இவ்வகையே மிக அதிகமாக புழக்கத்தில் உள்ளது.

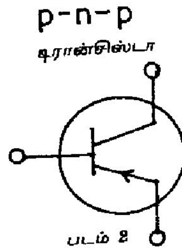
233 டிரான்சிஸ்டர் (Transistor)

டிரான்சிஸ்டர்களில் இருவகை உண்டு. ஒன்று n-p-n டிரான்சிஸ்டர் (படம் – 1); மற்றொன்று p-n-p டிரான்சிஸ்டர் (படம் – 2). ஒரு மெல்லிய p-வகை சிலிகான் (அல்லது ஜெர்மானியம்) குறைகடத்தியின் இரு பக்கங்களிலும் n-வகை சிலிகான் (அல்லது ஜெர்மானியம்) குறைகடத்தியைப் பொருத்தி n-p-n சந்தி டிரான்சிஸ்டர் உருவாக்கப்படு கிறது. இதேபோன்று n-வகை சிலிகான் (அல்லது ஜெர்மானியம்) குறைகடத்தியின் இருபக்கங் களிலும் p-வகை சிலிகான் (அல்லது ஜெர்மானியம்) குறைகடத்தியைப் பொருத்தி p-n-p சந்தி டிரான்சிஸ்டர் உருவாக்கப்படுகிறது.

டிரான்சிஸ்டரில் உமிழி (emitter), ஏற்பி (collector), அடிவாய் (base) என்ற மூன்று பகுதிகள் உள்ளன. அடிவாயின் தடிமன் மிகக் குறைவாகவும், ஏற்பியின் தடிமன் மிக அதிகமாகவும் இருக்கும். மாசுக் கலப்பு உமிழியில் அதிகமாகவும், அடிவாயில் மிகக் குறைவாகவும், ஏற்பியில் இரண்டுக்கும் இடைப்பட்ட அளவிலும் இருக்கும். மின் சுற்றுகளில் இணைக்கப்படும்பொழுது அடிவாய்–உமிழிச் சந்திக்கு முன்னோக்குச் சார்பும் (forward bias), அடிவாய்–ஏற்பிச் சந்திக்கு பின்னோக்குச் சார்பும் (reverse bias) கொடுக்கப்படுகிறது. சுற்றுகளில் இணைக்கப்படும்போது எலக்ட்ரான்கள் உமிழியிலிருந்து அடிவாயப் பகுதிக்குக் கவர்ந்து இழுக்கப்படுகின்றன. அடிவாயப் பகுதியின் தடிமன் மிகவும் குறைவாக இருப்பதால் இங்கு ஏற்படும் எலக்ட்ரான்–மின் துளை இணைவு (recombination) மிகவும் குறைவே. ஆகவே மீதமுள்ள அதிகமான எலக்ட்ரான்கள் ஏற்பியை அடைகின்றன. இதனால் ஏற்பி மின்னோட்டம் I_C தோன்றுகிறது. உமிழி மின்னோட்டம் I_E, ஏற்பி மின்னோட்டம் I_C, அடிவாய மின்னோட்டம் I_B ஆகிய இவைகளுக்கிடையே உள்ள தொடர்பு: $I_E = I_B + I_C$.



படம் 1



படம் 2

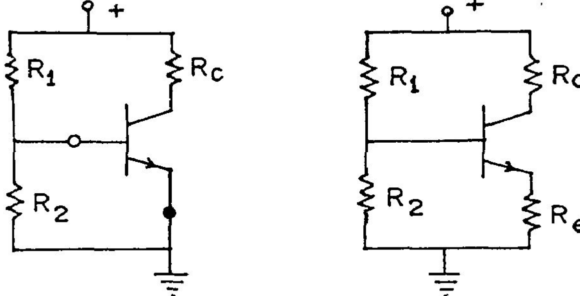
தேவைக்கேற்ப டிரான்சிஸ்டரை மூன்றுவகையாகச் சுற்றுகளில் இணைக்கலாம் : அவை, பொது அடிவாய இணைப்பு, பொது உமிழி இணைப்பு, பொது ஏற்பி இணைப்பு. பொது உமிழி இணைப்பில மின்னோட்டப் பெருக்கமும் மின்னழுத்தப் பெருக்கமும் அதிகமாக இருக்கும். உள்ளீடு மின்தடையும் (1000ஓம்), வெளியீட்டு மின்தடையும் (45,000 ஓம்) குறைவாய இருக்கும் பொது அடிவாய இணைப்பில் மின்னழுத்தப் பெருக்கம் அதிகமாகவும் மின்னோட்டப் பெருக்கம் குறைவாகவும் இருக்கும். உள்ளீடு மின்தடை மிகக் குறைவாகவும் (20 ஓம்) வெளியீட்டு மின்தடை மிக அதிகமாகவும் (17 இலட்சம் ஓம்) இருக்கும். பொது ஏற்பி இணைப்பில மின்னோட்டப் பெருக்கம் அதிகமாகவும், மின்னழுத்தப் பெருக்கம் ஒன்றை விடக் குறைவாகவும் இருக்கும். உள்ளீடு மின்தடை மிக அதிகமாகவும் (144,000 ஓம்) வெளியீட்டு மின்தடை மிகக் குறைவாகவும் (80 ஓம்) இருக்கும்.

டிரான்சிஸ்டர்கள் மின்னழுத்தப் பெருக்கியாகவும் மின்னோட்டப் பெருக்கியாகவும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன

234 டிரான்சிஸ்டர் மின்னழுத்த அமைப்பு

பண்பு வரைகோட்டில் (characteristic curve) செயலுறு பகுதியில (active region) இயக்கப்படும்போது டிரான்சிஸ்டர் நேர்கோட்டுச் செயற்பாடு கொண்டதாக இருக்கிறது செயலுறு பகுதியில் செயற்பாட்டுப் புள்ளியை (operating point) அமைப்பதுதான சார்பாக்கல் (biasing), அல்லது, மின்னழுத்த வேறுபாட்டு அமைப்பு என்கிறோம். மின்கல அடுக்குகளைப் பயன்படுத்தித் தகுந்த நேர் மின்னழுத்தங்களையும் (D.C. bias), நேர் மின்னோட்டங்களையும் (D.C.current) ஏற்படுத்திச் செயற்பாட்டுப் புள்ளி அமைக்கப்படுகிறது செயற்பாட்டுப் புள்ளி சரியாக இருப்பின் உள்ளீடு சைகையும் (input signal) வெளியீட்டுச் சைகையும் (output signal) ஒரே மாதிரியான அலை அமைப்பு (waveform) கொண்டவையாக இருக்கும். மின்னழுத்த அமைப்பு இரு வகைப்படும். அவை நிலையான மின்னழுத்தச் சார்பு (fixed bias), (படம் 1), சுயமின்னழுத்தச் சார்பு (self-bias) (படம் 2) ஆகியவையாகும். நிலையான மின்னழுத்தச் சார்பில் தேவையான அடிவாய் மின்னோட்டத்திற்குரிய அடிவாய மின்தடைகள் R_1, R_2 கணிக்கப்பட்டு இணைக்கப்படுகின்றன. இந்த அமைப்பில் டிரான்சிஸ்டர் மின்னோட்டப் பெருக்க எண் β மாறும் போது, அடிவாய் மின்னோட்டம் மாறாமல இருக்கும்போதே ஏற்பி

மின்னோட்டமும் மின்னழுத்தமும் மாறுதல் அடைகின்றன. இதனால் செயற்பாட்டுப் புள்ளி இடம் பெயர்கிறது. செயற்பாட்டுப் புள்ளி மாறாதிருத்தல் வேண்டும். ஆகவே



படம் 1: நிலையான மின்னழுத்த சார்பு படம் 2: சுயமான மின்னழுத்த சார்பு

டிரான்சிஸ்டர் β–மாறும போது ஏற்பியின் மின்னோட்டமும் மின்னழுத்தமும் மாறா வண்ணம் அடிவாய் மின்னோட்டத்தை மாற்றியமைக்க வழி இருத்தல் வேண்டும்.

சுயமின்னழுத்தச் சார்பு உத்தியில் இதை நிறைவேற்றலாம். இந்த உத்தியில் உமிழிக்கும் மின்கல அடுக்கிற்கும் இடையே R_e என்ற ஒரு மின்தடை படம் 2–ல் காட்டியவாறு இணைக்கப்படுகிறது. ஏற்பியின் மின்னோட்டம் மாறும்போது இந்த மின்தடையில் மின்னழுத்த வேறுபாடும் மாறுகின்றது. இந்த மாற்றத்தினால் அடிவாய் மின்னோட்டத்தில் மாறுதல்கள் ஏற்படுத்தப்பட்டு ஏற்பி மின்னோட்டமும் மின்னழுத்தமும் நிலைப்படுத்தப் படுகின்றன.

235 தொகுப்புச் சுற்றுகள் (Integrated circuits)

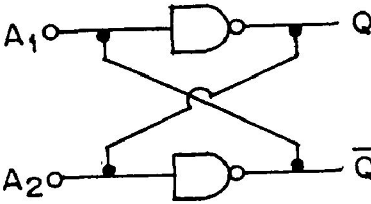
தொகுப்புச் சுற்றுகளைக் கண்டுபிடித்து, நடைமுறைப்படுத்துவதற்கு முன்பு ஒரு மின்னணுவியல் சுற்றுக்குத் தேவையான செயலூட்டப் பகுதியையும் (active components) உயிர்ப்பற்ற பகுதியையும் (passive components) ஒவ்வொன்றாக எடுத்துக்கொண்டு ஒரு சுற்றுக்குத் தேவையான செயலூட்டப் பகுதியும், உயிர்ப்பற்ற பகுதியும், அவற்றின் இணைப்புக்களும் ஒரு 0.05" x 0.05" அளவுள்ள சிலிக்கான் துண்டில் உள்ளன. இரண்டு வகையான தொகுப்புச் சுற்றுகள் செய்யப்படுகின்றன. 1. இனக் கலப்புத் தொகுப்புச் சுற்று (hybrid I.C.); 2. ஒருகல் (monolithic) தொகுப்புச் சுற்று. கலப்புத் தொகுப்புச் சுற்றில் ஆவி வளர்த்தல் முறையிலும், ஊடுருவல் முறையிலும் மெல்லிய ஏட்டின் (thin flim) முறையிலும் மிகச்சிறிய, நுண்ணிய செயலூட்ட உறுப்புகளும், உயிர்ப்பற்ற உறுப்புகளும் தயார் செய்யப்பட்டு, அவை ஒரு சுற்றுக்குத் தேவையானபடி உலோகப் படிமான முறையில் இணைககப்படுகின்றன. பிறகு இந்தச் சுற்று ஒரு சிறு உறையில் வைக்கப்படுகிறது. இந்தத் தொகுப்புச் சுற்றானது ஒவ்வொரு உறுப்பாக எடுத்து, இணைக்கப்படுகின்ற சுற்றைப் போன்றது. ஆனால் மிகக் குறைந்த பரப்பில், மிகச் சிறிய உருவில், முழுச் சுற்றினையும் கொண்டதாகும. கல் தொகுப்புச் சுற்று முற்றிலும் தொகுக்கப்பட்டதாகும். இதில் ஒரு முழுச் சுறறுககுத் தேவையான எல்லா உறுப்புகளும் ஒரு மிகச்சிறிய சிலிக்கான் துண்டின் மேல் ஆடை வளாபபு (epitaxial growth), ஒளிப்பட வரைபட இயல்முறையினால் வேண்டிய இடங்களில் உயரகத் தடுப்பை கரைத்தெடுத்தல், துளையிட்ட மூடி மூலம் வேண்டிய இடங்களில வேற்றணுக்களின் விரவல் உயரக மேலாடை வளர்ப்பு, உயரக மேலாடை நீக்கல் முதலியவற்றால் உருவாக்கப்படுகின்றன. அதன்பின் இவை உலோகப் படிமானத்தினால் இணைக்கப்படுகின்றன. இதில் டிரான்சிஸ்டர்களையே தயார் செய்து, அவற்றையே ஒரு சுற்றுக்குத் தேவையான மற்ற உறுப்புகளாக மாற்றிப் பயன்படுத்தபபடுகின்றன. இம்முறையில் தயாரிக்கப்பட்ட உறுப்புகள் மிகச் சிறியவையாக இருப்பதால் மிக அதிக அளவில் உறுப்புகளை மிகச்சிறிய சிலிக்கான் கல்லில் தயாரிக்க முடியும். இம்முறையில் ஒரே நேரத்தில் பல தொகுப்புச் சுற்றுகளைச் செய்வதால்

அவற்றின் செயற்பாடு ஒரே மாதிரியாக இருக்கும். மேலும் அநேக தொகுப்புச் சுற்றுகளை ஒரே தடவையில் செய்வதால் குறைந்த விலையில் இச்சுற்றுகள் கிடைக்கும். இவற்றின் செயற்பாடுகளும் மிகவும் நம்பகமான முறையில் இருக்கும். வெளியிணைப்பினால் வரும் திறந்த சுற்று, மற்ற இணைப்புக்களுடன் குறுக்கீட்டிணைப்பு ஆகியவை இதில் இல்லை. வெளியிணைப்புகள் இல்லாததால் செருகு கொண்மம் இல்லை. குறைந்த மின்னழுத்தமே போதுமானது.

தொகுத்த சுற்றுக்களிலுள்ள குறைகள்: 1. மின் தடையின் மதிப்பை ஒரு குறிப்பிட்ட அளவில் (30 K) தான் அடையமுடியும். அவற்றின் அளவில் மாற்றம் 10% அளவில் உள்ளது. ஆனால் அவற்றின் தகவு மாற்றம் 1%க்குள் அமையும். 2. கொண்மியின் அளவும் 200 p.f.க்கு குறைவாகத் தான் அடையமுடியும். 3. தூண்டம் (induction), மின்மாற்றி (transformer) ஆகியவற்றைத் தொகுப்புச் சுற்று முறையில் அமைக்க முடியாது. 4. அதிக அலைவெண் அலைவுகளுக்கு இவற்றை உபயோகிக்கமுடியாது. 5. வெளியீடு திறன் மிகவும் குறைவாக இருக்கும். 6. பழுதடைந்தால் முழுச் சுற்றினையும் களைந்து வேறு தொகுப்புச் சுற்றினைப் பொறுத்த வேண்டும்.

236 நிலைமாறி (Flip flop)

தொடர் தர்க்கச் சுற்றுகளில் (sequential logic circuits) வெளியீடுகள் அதன் முந்தைய நிலைகளை ஒத்ததாக இருக்க வேண்டியதால் ஏதோ ஒரு வகையான நினைவுப் பகுதிகளைக் (memory unit) கொண்டிருக்கும். மிக அதிகமாகப் பயன்படும் நினைவுப் பகுதியே நிலைமாறி அல்லது பிளிப் பிளாப் எனப்படுகிறது. இரண்டு நண்ட் அல்லது நாட் ஆக மாற்றப்பட்ட நண்ட் வாயில்களை (single input NAND gates) படத்தில் காட்டியவாறு இணைத்தால் ஒரு அடிப்படையான எண் குறி நினைவுச் சுற்று (digital memory circuit) கிடைக்கும். ஒவ்வொரு வாயிலின் வெளியீட்டையும் மற்றொன்றின் உள்ளீட்டுடன் இணைக்க பிளிப் பிளாப் கிடைக்கிறது. இதன் வெளியீடு Q = 1 ($\bar{Q}$ = 0) அல்லது Q = 0 ($\bar{Q}$ = 1) என்ற இரண்டு நிலைகளில் ஏதோவொரு நிலையில் எப்போதும் இருக்கும். இதை 'பைனரி' என்றும், 'ஒரு பிட் நினைவுப் பகுதி' என்றும், 'ஒரு பிட் சேமிப்பு செல்' என்றும் அழைக்கிறோம் (Binary - one bit memory unit, - one bit storage cell). ஒரு பிட் சைகை மதிப்பு இதனில் அடக்கப்படுவதால் இதை 'லேட்ச்சு' (latch) என்கிறோம்.

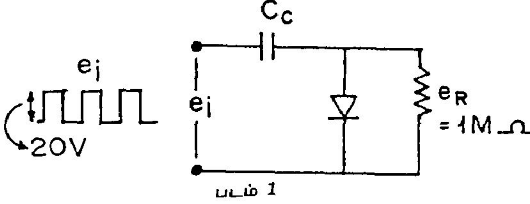


237 படி சுழற்றி (Stepper motor)

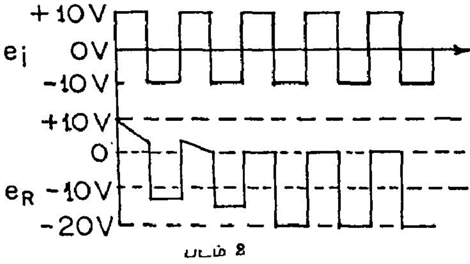
இது மின் ஆற்றலை இயந்திரச் சுழற்சியாக மாற்றுகிறது. இதன் சுழற்சி தொடர்ச்சியாக அமையாமல், படிகளில் அமையும். 30°, 45°, 90° என்பன வழக்கமான கோணப் படிகள் (Angular steps). மின்காந்த முறையில் கோணப்படிகள் உருவாக்கப்படுகின்றன. இயந்திரங்களில் துல்லியமான நிலையை இதனைக் கொண்டு ஏற்படுத்த முடியும். இதனை ஒரு பெருக்கியுடன் சேர்த்து, இலக்க வகை சைகைகளை (Digital signals) இயந்திரவகைச் சுழற்சியாக மாற்றும் சாதனங்களை உருவாக்கலாம். கணிணி பரிமாற்று அமைப்புகள் (Computer interfaces), கட்டுப்பாட்டு அமைப்புகள், கடிகாரங்கள் ஆகியவற்றில் படி சுழற்றி பயன்படுகிறது.

238 பிடிப்புச்சுற்று (Clamping circuit)

பொதுவாக, பிடிப்புச்சுற்று ஓர் அலைவடிவத்தின் மேல்நிலை அல்லது கீழ்நிலையைப் பற்றி ஒரு மாறுபடாத நேர் மின்னோட்டத்தின் அளவோடு நிலைப்படுத்தவும், அதேநேரத்தில் அதன் உருவத்தையும், வீச்சையும் மாறு படாமல் காக்கவும் உருவாக்கப் படுகிறது. கொண்மி இணைப்புச் சுற்றுகளில் (capacitor coupling circuits) இழந்த நேர்மின்னோட்டப் பகுதி திரும்பவும் கிடைக்கச் செய்வதால் இதற்கு நேர் மின்னோட்டத் திருப்பி (d.c. restorer) எனும் பெயர் உள்ளது. ஒரு பிடிப்புச் சுற்று படம்-1ல் காட்டப் பட்டுள்ளது.



படம் 1

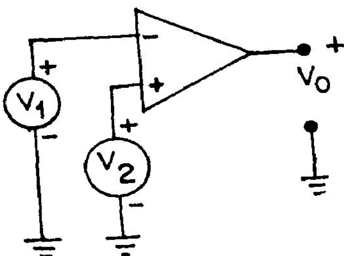


படம் 2

சுற்றின் உள்ளிடு மின்னழுத்தம் e_i நேர்மின்னழுத்தமாக இருக்கும்போது கொண்மி மின்னூட்டத்தைப் பெறுகிறது. உள்ளீடு மின்னழுத்தம் எதிர் மின்னழுத்தமாக இருக்கும்போது கொண்மி மின்னிறக்கம் செய்யாது. மிக விரைவில் கொண்மி $+e_i$ மின்னழுத்தத்தைப் பெறுகிறது. அதன்பின் ஒவ்வொரு அரைநேர் அலைவின் (positive half cycle) போதும் வெளியீடு மின்னழுத்தம் e_R,O, V ஆகவும், ஒவ்வொரு எதிர்அரை அலைவின் (negative half cycle) போதும் வெளியீடு மின்னழுத்தம் e_R,$-e_i+(-e_i)$-$2e_i$ ஆகவும் உள்ளது. அதாவது, மொத்த உள்ளிடு அலைவும் கீழ்நோக்கிப் பெயர்ந்து வெளியீடாக வருகிறது. இது படம்-2ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. தற்போது $+e_i$ நிலை சுழிநிலையோடு ஒன்றியுள்ளது. டயோடின் முனைகளை மாற்றுவதன் மூலம் அலைவின் கீழ்நிலை ($-e_i$) யானது சுழியோடு ஒன்றும்படிச் செய்யலாம். இந்தப் பிடிப்புச் சுற்றை அலைவின் மேல்மட்டத் தையோ அல்லது கீழ்மட்டத் தையோ ஒரு குறிப்பிட்ட நேர்மின்னழுத்தத்திற்கு நிலைப்படுத்த அந்த மின்னழுத்தமுள்ள பாட்டரியை டயோடின் கேத்தோடு முனையுடன் இணைக்கவேண்டும். அப்போது இந்தச் சுற்று, அலைவைப் பாட்டரியில் மின்னழுத்தத்தில் நிலைபடுத்தும்.

239 பொதுவகை ஒதுக்குத் தகவு (Common mode rejection ratio) (CMRR)

ஓர் இயங்குறு பெருக்கி (OPAMP)யின் உள்ளீடாக V_1, V_2 என்பவை அமைந்தால், அதையே வேறுபாடு சைகை உள்ளீடு V_d (difference signal input) என்பதன் மூலமும், பொதுவகை உள்ளீடு V_c (common mode input) என்பதன் மூலமாகவு ம் குறிப்பிடலாம். $V_d=V_1-V_2$; $V_c=(1/2)(V_1+V_2)$ ஒரு வேறுபாடு பெருக்கி (differenceamplifier) யின் வெளியீட்டை $V_0=(1/2)(A_1-A_2)V_d+(A_1+A_2)V_c$ என்ற சமன்பாடு மூலம் பெறலாம். இதில் A_1 என்பது V_2 சைகை தரையிடப்படும்போது V_1 உள்ளீடு மட்டுக்குமான இயங்குறு பெருக்கியின் மின்னழுத்த பெருக்கத்தையும், A_2 என்பது V_1 தரையிடப்படும் போது V_2 உள்ளீடு மட்டுக்குமான மின்னழுத்தப் பெருக்கத்தையும் (voltage gain) குறிப்பிடுவதாகும். உள்ளீடுகளின் வேறுபாட்டைப் பொருத்து இயங்குறு பெருக்கியின் மின்னழுத்த லாபத்தையும் (A_d) - (voltage



gain) பொதுவகை உள்ளீட்டுக்கான மின்னழுத்த லாபம் (A_c)-ஐயும் கீழ்க்கண்ட சமன்பாடுகள் தருகின்றன. $A_d = (1/2)(A_1 - A_2)$; $A_c = A_1 + A_2$

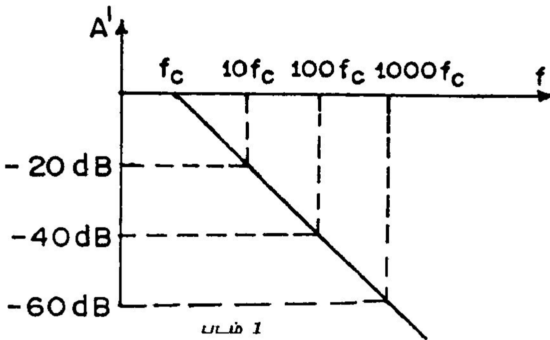
ஆகவே ($V_1 - V_2$) மதிப்பு ஒன்றாகவே பல்வேறு உள்ளீடுகளுக்கு இருந்தாலும், பொதுவகை உள்ளீடு மதிப்பைப் பொருத்து வெளியீடு மாறி அமையும்.

ஒரு லட்சிய வேறுபாடு பெருக்கியில் இவ்வாறு அமையாமல் இருக்க Ac என்பது சுழியாக வேண்டும். வேறுபாடு பெருக்கியின் செயற்படுதிறனை அறிய ஒரு அளவுகோலாக இந்த CMRR மதிப்பு பயன்படுகிறது. CMRR = A_d/A_c என்ற தகவே பொதுவகை ஒதுக்கு தகவு என்று அறியப்படுகிறது.

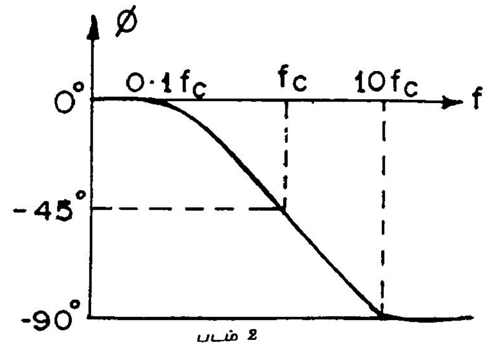
தற்போது விற்பனைக்குக் கிடைக்கும் வேறுபாடு பெருக்கிகளில் இந்த மதிப்பு 60 முதல் 100 டெசிபல் வரை இருக்கிறது.

240 போடு வரைபடம் (Bode plots)

மின் பெருக்கிகளின் செயல்திறனை அறிந்து கொள்ளவும், ஒப்பிடவும் இரு வரைபடங்கள் வரையப்படுகின்றன. 1. பெருக்குத் திறன் (gain) - அதிர்வெண் வரைபடம் (படம் 1); 2. கட்ட கோணம் (phase angle) - அதிர்வெண் வரைபடம் (படம்- 2). இவ்வரை-படங்களை வரையும் போது நீண்ட அதிர்வெண் நெடுக்கத்தைப் பயன்படுத்தும் வகையில் மடக்கை அதிர்வெண் அளவுத் திட்டம் பயன்படுத்தப்படுகிறது. பெருக்குதிறன், டெசிபல் (dB) அளவில் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டால், பெருக்கியின் செயல்திறன் சிறப்புப் பண்பை



படம் 1

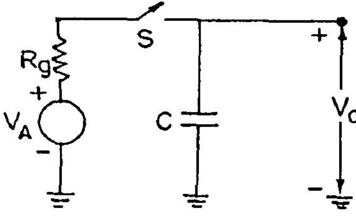


படம் 2

(performance characteristic) ஏறத்தாழ நேர்கோடுகளாகப் பெறலாம். அவை போடு வரைபடங்கள் எனப்படுகின்றன. டெசிபல் மின்னழுத்தப் பெருக்கம், $A^1 = 20 \log_{10}(1/\sqrt{1 + (f/f_c)^2})$. f, f_c என்பன முறையே உள்ளீடு சைகையின் அதிர்வெண் மற்றும் மாறுநிலை அதிர்வெண் ஆகும்.

241 மாதிரி–நிலைச் சுற்று (Sample and hold circuit)

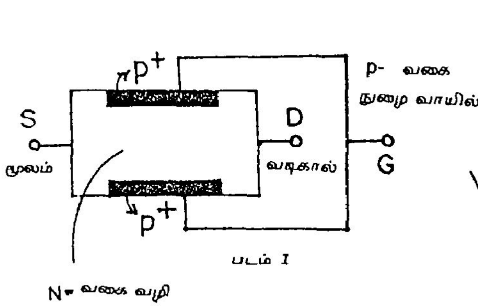
மாதிரி–நிலை சுற்றுகள் தொடர் (analog) சைகையின் ஒரு குறிப்பிட்ட காலகதியில் உள்ள அளவினை அறிந்து தேவையான காலம் அதை நிலைப்படுத்தி வைப்பதற்கு உதவுகின்றன. எந்தக் கால கட்டத்தில் அதன் அளவை அறிய வேண்டும் என்பதும், எவ்வளவு காலத்திற்கு அதை நிலைப்படுத்தி வைக்க வேண்டும் என்பதும் ஒரு முறைமை கட்டுப்பாட்டுச் சைகையினால் தீர்மானிக்கப் படுகிறது. எவ்வளவு காலம் நிலைப்படுத்த வேண்டும் என்பது அதைப் பயன்படுத்தும் சுற்றினைப் பொறுத்தது. எடுத்துக்காட்டாக, எண்ணியல் வடிகட்டிகளில் (digital filters) மாதிரி அளவு தொடர் சைகையை எண்ணியல் சைகையாக மாற்றும்வரை நிலைப்படுத்தப்பட வேண்டும். ஒரு மாதிரிநிலை சுற்று படத்தில்



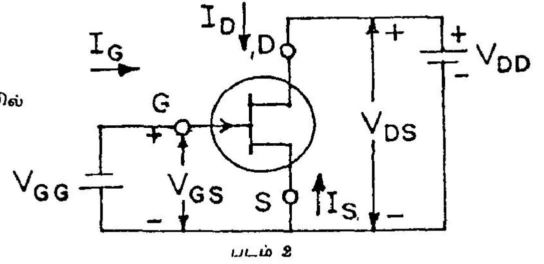
காட்டப்பட்டுள்ளது. மாதிரிநிலை சுற்றுகளில் மாதிரி மின்னழுத்தத்தை நிலைப்படுத்த ஒரு கொண்மியும், கொண்மியில் மாதிரி மின்னழுத்தத்தை சேர்க்கவும், சேர்த்த பின் கொண்மியை உள்ளிடு மின்னழுத்தத்திலிருந்து பிரித்து மாதிரி மின்னழுத்தத்தை நிலைப்படுத்தவும் ஒரு மின்னியல் இணைப்பான் (electronic switch) பயன்படுத்தப்படுகிறது. V_A என்பது தொடர் உள்ளிடு மின்னழுத்தம்; R_g என்பது அதன் உள்ளிடு தடை. இணைப்பான் S மூடியிருக்கும்போது கால எண் R_gCயின் அளவு குறைவாயிருந்தால் வெளிபடு மின்னழுத்தம் உள்ளிடு மின்னழுத்தத்திற்குச் சற்றேறக் குறையச் சமமாயிருக்கும். இணைப்பான் திறந்த நிலையை அடையும்போது வெளிப்படு மின்னழுத்தம் உள்ளிடு மின்னழுத்தத்திற்குச் சமமாயிருக்கும். இணைப்பான் திறந்த நிலையில் இருக்கும்வரை கொண்மி கடைசியாகக் கொடுக்கப்பட்ட உள்ளிடு மின்னழுத்தத்தை நிலைப்படுத்தும்.

242 மின்புல விளைவு டிரான்சிஸ்டர் (Field-effect transistor)

மின்புல விளைவு டிரான்சிஸ்டர் ஒரு குறைகடத்தியில் செய்யப்பட்ட கருவியாகும். மின்புலம் இதனுடைய மின்னோட்டத்தைக் கட்டுப்படுத்துகிறது. இருவகையான மின்புல விளைவு டிரான்சிஸ்டர்கள் உள்ளன. சந்தி மின்புல விளைவு டிரான்சிஸ்டர் (Junction Field-effect transistor அல்லது JFET, அல்லது சுருக்கமாக FET) என்பது முதல் வகையாகும். காப்பிடப்பட்ட நுழைவாயில் மின்புல விளைவு டிரான்சிஸ்டர் (insulated gate field effect transistor or IGFET). அல்லது உலோக ஆக்ஸைடு குறைகடத்தி டிரான்சிஸ்டர் (metal oxide semi



படம் 1



படம் 2

conductor transistor, MOST அல்லது MOSFET) என்று பொதுவாக அழைக்கப்படுவது இரண்டாவது வகைப்பட்டதாகும். N - தட (n - channel) மின்புலம் விளைவு டிரான்சிஸ்டரின் பக்கத் தோற்றம் 1-ஆம் படத்தில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. சுற்றுகளில் பயன்படுத்தப்படும் அதனுடைய குறியீடு 2-ம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது.

N -வகை குறைகடத்திச் சட்டத்தின் இரு பக்கங்களிலும் மிக அதிக அளவில் p^+ - வகை மாசு கலக்கப்பட்ட பகுதிகள் உலோகக் கலப்பின் (alloying) மூலமாகவோ அல்லது விரவல் உத்தி (diffusion technique) மூலமாகவோ உருவாக்கப்பட்டுள்ளன. இந்த மாசு பரவிய பகுதிகள் நுழைவாயில் என்று அழைக்கப்படுகின்றன. S - என்ற மூலம் வழியாகப் பெரும்பான்மை மின் கடத்திகள் மின்கல அடுக்கிலிருந்து குறைகடத்திச் சட்டத்தில் நுழைகின்றன; D-என்ற வடிகால் வழியாக இக்கடத்திகள் சட்டத்தை விட்டு வெளியேறுகின்றன. வடிகாலுக்கும் மூலத்திற்கும் இடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு V_{Ds} என்றும், நுழைவாயிலுக்கும் மூலத்திற்கும் இடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு V_{Gs} என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன.

சுற்றுக்களில் நுழைவாயிலுக்கும் மூலத்திற்கும் இடையே எப்போதுமே எதிர்த்திசை மின்னழுத்தச் சார்பு கொடுக்கப்படுகிறது. இந்த எதிர்த்திசை மின்னழுத்தச் சார்பை மாற்றியமைத்து N-வழியின் மின் கடத்தும் பகுதியின் அகலத்தை அதிகப் படுத்தியோ அல்லது குறைத்தோ N-வழியில் மின்னோட்டம் கட்டுப் படுத்தப்படுகிறது.

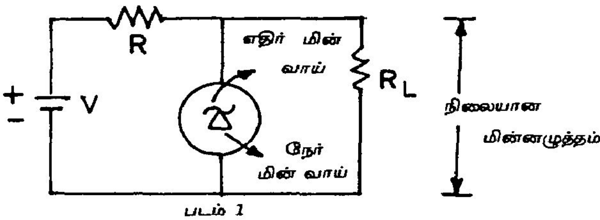
இரு முனைவு டிரான்சிஸ்டரைப் போலன்றி, மின்புல விளைவு டிரான்சிஸ்டரில் பெரும்பான்மை மின் கடத்திகள் மட்டுமே உள்ளன; சிறுபான்மை மின் கடத்திகள் கிடையாது. இருமுனைவு டிரான்சிஸ்டரை விட, இதனுடைய உள்ளீடு மின்தடை (input resistance) மிக அதிகமாகவும், மின்னிரைச்சல் (noise) மிகக் குறைவதாகவும் இருக்கின்றன..

243 **மின்மறுப்புப் பொருத்தம்** (Impedance matching)

பல்வேறு வகையான மின்கருவிகளை ஒன்றுடன் ஒன்றை இணைத்துச் செயற்பட வைக்க, ஒன்றின் வெளியீடு ஆற்றல் (output energy) முழுமையாக மற்றொன்றின் உள்ளீட்டுக்கு மாற்றம் பெற வேண்டும். இது முதல் கருவியின் வெளியீடு மின்மறுப்பும் (output impedance), இரண்டாவது கருவியின் உள்ளீடு மின்மறுப்பும் (input impedance) சமமாக இருக்கும்போது மட்டுமே நடக்கும். ஆனால் பல்வேறு மின்சாதனங்களில் உள்ளீடு மின்தடை மதிப்புகளும், வெளியீடு மின்தடை மதிப்புகளும் மிக அதிகமான அளவில் ஒன்றுக்கொன்று மாறுபட்டதாக அமையும். இத்தகைய நிலைகளில் பொருத்தமான மின்மாற்றிகளை ஒன்றின் வெளியீடுக்கும், மற்றொன்றின் உள்ளீடுக்கும் இடையே இணைப்பதன் மூலம் ஆற்றலை முழுமையாக மாற்றுதல் இயலும். மாறுபட்ட பண்புகளைக் கொண்ட வெவ்வேறு வகை டிரான்சிஸ்டர்களைக் கொண்டு அமைக்கப்பட்ட மின்சுற்றுகளும், இயங்குறு பெருக்கிகளைக் கொண்ட மின்சுற்றுகளும் மின் மறுப்புப் பொருத்தம் பெறப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

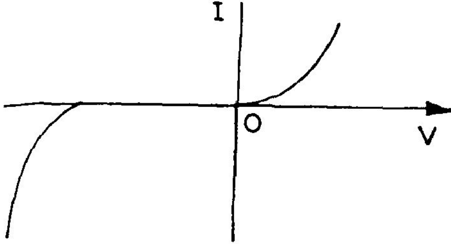
244 **முறிவு டையோடுகள்** (Breakdown diodes)

பண்புக் கோட்டின் முறிவுப் பகுதியில் இயக்கப்படுகின்றபோது அதிக மின் ஆற்றல் அளிக்கவல்ல குறைகடத்தி டையோடுகளை முறிவு டையோடுகள் என்று பொதுவாக அழைக்கிறோம். இந்த டையோடுகள் குறிப்பாக பெருகு பொழிவு (avalanche) அல்லது ஜீனர் (zener) டையோடுகள் என்று அழைக்கப் படுகின்றன. இரண்டு இயல் இயக்க முறைகளால் (mechanisms) முறிவு ஏற்படுகிறது. பெருகு பொழிவு முறிவு என்பது முதல் இயலியக்க முறையாகும். இதில் வெப்ப ஆற்றலால் உருவாக்கப் பட்ட எலக்ட்ரான்களும், மின் துளைகளும் சுற்றுக்கு அளிக்கப்படுகின்ற மின்னழுத்தத் திலிருந்து (applied potential) அதிக ஆற்றலைப் பெற்றுப் புதிய மின் கடத்திகளை உண்டாக்குகின்றன. இவ்வாறு உண்டாக்கப்பட்ட புதிய மின்கடத்திகள் சுற்றுக்கு அளிக்கப்படுகின்ற மின்னழுத்தத்திலிருந்து ஆற்றலைப் பெற்று இன்னும் கூடுதலான மின்கடத்திகளை உருவாக்குகின்றன. இவ்வாறு மின் கடத்திகள் படிப்படியாகத் திரண்டு கூடி வருவதை பெருகு பொழிவுப் பெருக்கம் என்று சொல்கின்றோம். இதன் விளைவாக ஏறத்தாழ நிலையான எதிர்திசை மின்னழுத்தத்தில் (reverse voltage) மிக அதிகமான எதிர்த்திசை மின்னோட்டம் (reverse current) தோன்றுகிறது.



படம் 1

இரண்டாவது இயலியக்க முறையில் அணுக்களுக்கு இடையேயுள்ள சகப்பிணைப்பைத் (covalent bond) தகர்த்தெறிவதற்கு வேண்டிய ஆற்றல் தொடக்கத்தில் உள்ள மின் கடத்திகளுக்கு இல்லை. ஆனால் டையோடு சந்தியில் உள்ள மின்புலம்



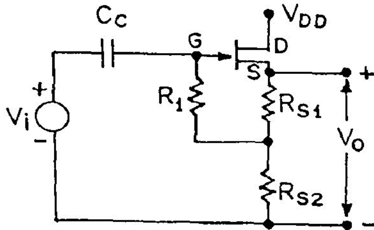
படம் 2

சகப்பிணைப்பில் கட்டுப்பட்டுள்ள எலக்ட்ரானின் மீது போதிய ஆற்றல் மிக்க விசையைச் செலுத்துவதால் பிணைப்பிலிருந்து அந்த எலக்ட்ரான் விடுபட்டு வெளியேறுகிறது. இதனால் எலக்ட்ரான்–மின்துளை இரட்டை (pair) உருவாக்கப்பட்டு எதிர் திசை மின்னோட்டம் மிகையாகிறது. இந்தச் செயற்பாங்கை ஜீனர் முறிவு என்கின்றோம். மிக அதிக மாசு கலந்த டையோடுகளில் 6 வோல்ட் மின்னழுத் தத்திலும், குறைந்த அளவில் மாசு கலந்த டையோடுகளில் இன்னும் அதிகமான மின்னழுத்தத்திலும ஜீனர் முறிவு ஏற்படுகிறது. ஆனால் அதிக மின்னழுத்தம் அளிக்கப்படுகின்றபோது பெருகுபொழிவு முறிவுதான் ஓங்கு நிலையில் (dominant) நடைபெறுகிறது.

ஜீனர் டையோடுகள் நிலையான மின்னழுத்தம் தரும் சுற்றுகளில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன (படம் 1). படம் 2–இல் முறிவு டையோடின் பண்பு வரைபடம காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

245 மூலம் பின்பற்றி (Source follower)

ஒரு சந்தி புல விளைவு டிரான்சிஸ்டரைப் (junction field effect transistor) பயன்படுத்தும் மூலம் பின்பற்றி மின்மிகைப்பி படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. இது பொது வடிகால் (common drain) மின்மிகைப்பி என்றும் கூறப்படும். இதில் நுழைவாயிலுக்கும், மூலததிற்குமிடையில் எதிர மின்னழுத்தம் ஏற்படுமாறு சார்பு கொடுக்கப் பட்டுள்ளது.



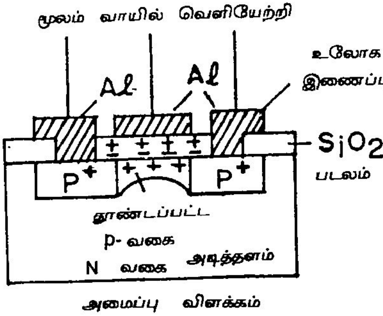
இந்தவகையான செயற்பாட்டிற்கு நேர்மின்னோட்ட சுமைக் கோட்டின் (D.C. load line) சமன்பாடு இங்கே கொடுககப்பட்டிருக்கிறது: அது, $V_{DD} = V_{DS} + I_{DS} (R_{S1} + R_{S2})$. V_{DD} என்பது வடிகாலில் கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தம்; V_{DS} என்பது வடிகாலுக்கும், மூலத்திற்கு மிடையேயுள்ள மின் னழுத்தம்; I_{DS} என்பது வடிகாலுக்கும், மூலத் திற்குமிடையே ஓடும் மின்னோட்டம்; R_{S1},R_{S2} மூலவாயிலில் இணைக்கப் பட்டுள்ள மின்தடைகள். R_1–ல் நேர்மின்னோட்டம் இல்லாதபோது, செயற்– புள்ளியில் (operating point) இருககும சார்பு மின்னழுத்தம், $V_{GSQ} = - I_{DSQ} R_{S1}$. I_{DSQ} என்பது செயற்புள்ளி மூலம் வடிகாலுக்கும், மூலத்திற்கு மிடையே ஓடும மின்னோடடம V_{GSR} ஒரு சில வோல்ட் மின்னழுத்தமே இருக்கும். ஆனால், V_{DSQ} சற்றேரக்குறைய V_{DD}யில் பாதியளவு இருக்கும். இதன்மூலம் செயற்புள்ளியைச் சுமைக்கோட்டின் மையப்பகுதியில் நிலைப்படுத்தலாம். இதற்கு R_{S1}, R_{S2}–வை விட மிகக் குறைவாக இருக்க வேண்டும். அதாவது $R_{S1} << R_{S2}$.

படத்தில் காட்டபபட்டுளள மின்மிகைப்பியின் வெளியீட்டு மின்னெதிர்ப்பு (output impedance) $Z_0 = (1/g_m)$ எனக் காட்டலாம். g_m என்பது மிகைப்பியின் குறுக்குக் கடத்துகை (transconductance). இதிலிருந்து இந்த மிகைப்பியின் வெளியீட்டு மின்னெதிர்ப்பு மிகவும் குறைவாக இருக்கும் என்பதை அறியலாம். இந்த மின்மிகைப்பியின் மின்னழுத்த மிகைப்பு (voltage amplification) $A_v = \mu/(\mu + 1)$ எனக் காட்டலாம். μ என்பது இம்மிகைப்பியின் பெருக்கக் காரணி (amplificationfactor). மிகைப்பியின் பெருக்கக் காரணி ஒன்றைவிட மிகவும் அதிகமாக இருக்கும் போது, அதாவது $\mu >> 1$, $A_v \approx 1$. இதிலிருந்து மின்னழுத்த மிகைப்பு சற்றேறக்குறைய ஒன்றுக்குச் சமமாக இருக்கும் என்பதையும், அது நேர்மின்னழுத் தமாக இருக்கும் என்பதையும் அறியலாம். ஆகையால் நுழைவாயிலுக்கும் வடிகாலுககுமிடையே கட்ட விலகல் (phase shift) இல்லை. இந்த மின்மிகைபபியின்

உள்ளீட்டு மின்னெதிர்ப்பு (input impedance). $Z_i \approx (\mu + 1)R_1$ எனக் காட்டலாம். இதிலிருந்து இந்த மிகைப்பியின் உள்ளீட்டு மின் எதிர்ப்பு மிகவும் அதிகம் என்பதை அறியலாம். இந்த மின்மிகைப்பி டிரான்சிஸ்டர் உமிழ்வாய்ப் பின்பற்றிக்கு இணையானது.

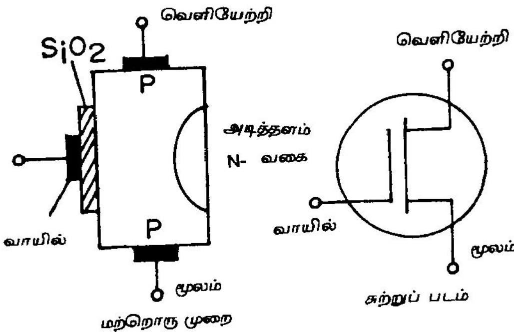
246 மெட்டல் ஆக்ஸைடு குறைகடத்தி புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டர்கள் (MOSFET)

P-சேனல் MOSFET (P channel MOSFET) என்பது N-வகை அடித்தளத்தில் (small substrate) இரண்டு அதிகமாக டோப் (dope) செய்யப்பட்ட P வகைப் பரப்புகளை சவ்வூடு பரவுதல் (diffusion) முறையில் ஏற்படுத்தி அதன்மீது சிலிகன்-டை-ஆக்ஸைடு (SiO_2) படலம் ஒன்றை அரிதில் கடத்திப் பகுதியாக (insulating layer) அமைத்து, அதில் இரண்டு துளைகள் மூலம், இரண்டு P வகைப் பகுதிகளும், உலோகப் பகுதியால் இணைக்கப் பட்டுள்ளன. இதில் ஒன்றை மூலம் (source) என்றும், மற்றொன்றை வெளியேற்றி (drain) என்றும் அழைக்கிறோம்.



அமைப்பு விளக்கம்

SiO_2 அடுக்கின் மீது மற்றொரு உலோகப் பரப்பானது ஏற்படுத்தப்பட்டு இதை வாயில் (gate) என்கிறோம். இந்த உலோக வாயிற்பகுதி அரிதிற்கடத்திப் பகுதியுடனும் குறைகடத்தியுடனும் சேர்ந்து ஒரு இணைதட்டு மின் தேக்கி (parallel plate condenser) ஒன்றை அமைக்கிறது. (SiO_2) சிலிகன்-டை-ஆக்ஸைடு மென் படலம் 10^{10} முதல் 10^{15} ஓம்கள் வரை உள்ள மிக அதிகமான உள்ளீடு மின்தடை (input resistance) கொண்ட தன்மையை MOSFETக்கு அளிக்கிறது. FET வகையைப் போல் அல்லாமல், வாயில் எதிர் அல்லது நேர் மின்னழுத்தத்திலும் செயல்படக் கூடியது. வாயில் அருகே அமையும் இணை மின் தேக்கியின் மதிப்பைப் பொருத்து, இதில் மூலத்திற்கும், வெளியேற்றிக்கும் இடையே மின்னோட்டம் அமையும். இதே போன்று P வகை அடித்தளம் கொண்டு N வகை செய்யப்படுகிறது. அதன் செயல்பாடும் இதே போன்று ஆகும்.

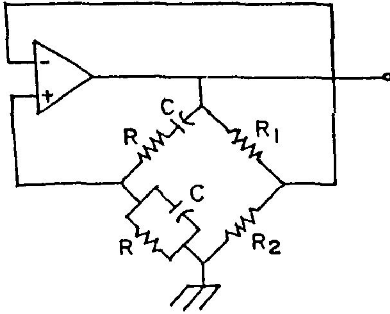


மற்றொரு முறை

சுற்றுப் படம்

247 வியன் சமனச் சுற்று அலை இயற்றி (The Wien-bridge oscillator)

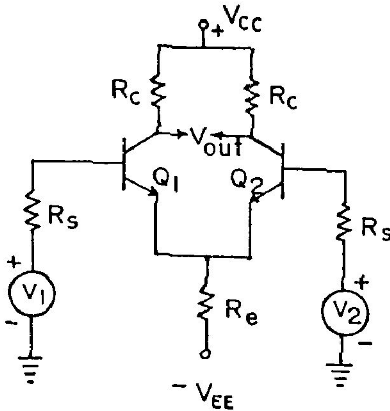
இது சமன் செய்யப்பட்ட சுற்றமைப்பை (balanced bridge) பின்னூட்ட சுற்றாகப் பயன்படுத்தும் அலை இயற்றி. பின்னூட்ட மின்சுற்றில் முந்து-பிந்து (lead-lag) மின்சுற்று பயன்படுகிறது. இதனால் சுற்றமைப்பைச் சமன் செய்து, பின்னூட்ட மின்னழுத்தத்தின் கட்ட வேறுபாட்டை 0° ஆக்கலாம். இது நிலை அலைவுகளை உருவாக்குகிறது.



அலைவுகளின் அதிர்வெண் $f = (1/(2\pi RC))$ ஆகும். RC மதிப்பை மாற்றி f-இன் மதிப்பை மாற்றலாம். இது 5 Hz முதல் 1 MHz வரையுள்ள அதிர்வெண் நெடுக்கத்தில் செயல்படும் படித்தர (standard) அலை இயற்றி ஆகும். வணிக செவியுணர் சைகை உருவாக்கிகளில் (commercial audio generators) இந்த அலை இயற்றியே பெரிதும் பயன்படுகிறது.

248 வேறுபாட்டளவையியல் பெருக்கி (Differential amplifier)

வேறுபாட்டளவையியல் பெருக்கி தனது இரு உள்ளீடு சைகைகளுக்கு இடையேயுள்ள மின்னுழுத்த வேறு பாட்டைப் பெருக்குகிறது. ஆற்றல் மாற்றிப் பெருக்கி (transducer amplifier), இணைப்புப் பெருக்கி (bridge amplifier), கருவியியல் பெருக்கி (instrumentation amplifier) என்ற மற்ற பெயர்களும் இதற்கு உண்டு. இந்தப் பெருக்கியின் இலக்கணப் பண்புகள் பின் வருமாறு: உள்ளீடு மின்தடை வரம்பிலியாகவும், வெளியீட்டு மின்தடை சுழியாகவும், நேர் மின்னோட்டப் பக்கப்பாய்வு (D.C. offset) இன்றியும், மின்னிரைச்சல் சுழியாகவும், மின்ன ழுத்தப் பெருக்க எண் நிலையாகவும் இருக்கும். மேலும் இரண்டு உள்ளீடுகளில் முற்றுமொத்த சைகைகள் முற்றிலும் தள்ளுபடி செய்யப் படுகின்றன. உமிழி இணைப்பு (emitter coupled) வேறுபாட்டளவை யியல் பெருக்கியின் எளிய சுற்றுப் படம், இங்கு காட்டப்பட்டுள்ளது. Q_1, Q_2 என்ற டிரான்சிஸ்டர்கள் இரண்டும் முற்றுமொத்த பண்புகளை (identical characteristics) உடையனவாகும். உமிழிகளோடு இணைக்கப்பட்டுள்ள Re என்ற மின்தடையை அதிகரித்து முற்றுமொத்த சைகைகள் தள்ளுபடித் தகவை (common mode rejection ratio) அதிகரிக்கலாம். ஆனால் Reஐ பெருமளவில் அதிகரிப்பதற்கு நடைமுறையில் இடையூறுகள் உள்ளன. Re அதிகமாகும்போது மின்கல அடுக்கின் மின்னழுத்தமும் அதிகரிக்கப்பட வேண்டும்; அப்போதுதான் டிரான்சிஸ்டரின் இயங்கா மின்னோட்டத்தை (quiescent current) தகுந்த அளவில் வைக்க முடியும். ஆனால் மாறா மின்னோட்டத் தோற்றுவாயின் மூலம் (constant current source) இந்தச் சிக்கலுக்குத் தீர்வு காணலாம். வேறுபாட்டளவையியல் பெருக்கியின் இருபாதிகளும் முற்றுமொத்ததாக இருப்பின், v_1, v_2 என்ற இரு உள்ளீடு சைகைகளும் முற்றுமொத்ததாய் இருக்கும்போது வெளியீட்டு மின்னழுத்தம் சுழியாக இருக்கும். v_1, v_2 என்ற இரண்டு மின்னழுத்தங்களுக்கும் இடையே வேறுபாடு உண்டாகும்.

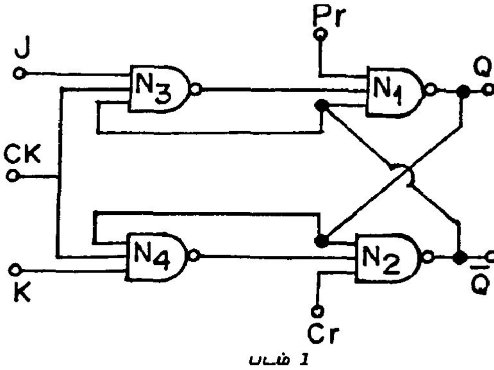


வேறுபாட்டளவையியல் பெருக்கிதான் செயற்பாட்டுப் பெருக்கியின் (operational amplifier) அடிப்படைச் சுற்றாகும். ஒத்தியல் கணிப்பொறிகளிலும் (analog computers), செயலுறு வடிப்பான்களிலும் (active filters), சதுரவடிவ, முக்கோண வடிவ அலைகள் உற்பத்தி செய்வதிலும், மின்னழுத்தப் பின்பற்றிகளிலும் (voltage followers) செயற்பாட்டுப் பெருக்கிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

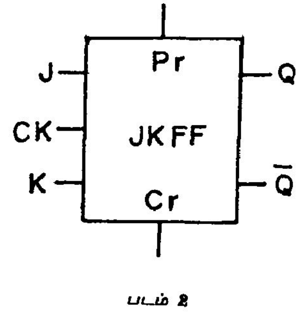
249 ஜெ. கே. நிலைமாறி (JK flip flop)

JK நிலைமாறி என்பது நான்கு மூன்று உள்ளீடுகளைக் கொண்ட NAND வாயில்களை படம் 1-ல் காட்டியவாறு இணைத்துப் பெறப்படுகிறது. படம் 2 அதன் தர்க்கக் குறியீடுமுறையை காட்டுகிறது.

JK பிளிப் பிளாப் தெளிவற்ற நிலைத்தன்மை கொண்ட S = R = 1 என்ற உள்ளீடுகளால் ஏற்படும் குறையை நீக்கத்தக்க சுற்றுக் கொண்ட பிளிப் பிளாப் ஆகும். இதில் உள்ளீடு சைகை J யும், வெளியீடு சைகை Q யும், N_3 என்ற NAND வாயிலுக்கு கொடுக்கிறோம். உள்ளீடு சைகை K யையும், வெளியீடு Qயையும், N_4 என்ற நண்ட்



படம் 1



படம் 2

வாயிலுக்குக் கொடுக்கிறோம். N_1 என்ற வாயிலுக்கு J.Q என்ற உள்ளீடும், N_2 என்ற வாயிலுக்கு K.Q என்ற உள்ளீடும் கிடைக்கும்.

Pr, Cr உள்ளீடுகள் பிளிப் பிளாப்பின் வெளியீடு நிலையை நாம் விரும்பும் வகையில் அமைத்துக் கொள்ள உதவும் உள்ளீடுகள் ஆகும். இவற்றை நேரடி உள்ளீடுகள் (directinputs) அல்லது கடிகாரத்துடிப்புடன் ஒத்திசையாதவை (asynchronousinputs) என்றும் கூறலாம். Cr = Pr = 1 என்ற நிலையை "enable" செயல்படுநிலை என்கிறோம். அப்போது மெய் அட்டவணையின்படி அதன் வெளியீடுகள் அமையும்.

உள்ளீடுகள்		வெளியீடு
Jn	Kn	Qn+1
0	0	Qn
1	0	1
0	1	0
1	1	Q̄n

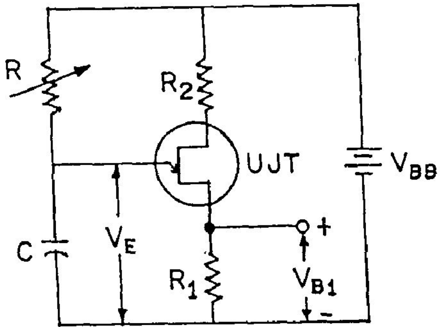
மெய் அட்டவணை

பிரிசெட் – கிளியர் (Preset - clear) உள்ளீடுகள் செயல்பாடு அட்டவணை

செயல்	கடிகார துடிப்பு Ck	கிளியர் Cr	பிரிசெட் Pr	வெளியீடு Q
கிளியர்	0	0	1	0
பிரிசெட்	0	1	0	1
எனேபிள் அல்லது செயல்படுநிலை	1	1	1	மெய் அட்டவணை

250 UJT தளர்வுறு அலை இயற்றி (UJT Relaxation oscillator)

இரம்பப் பல் மின்னழுத்தத் துடிப்புகளை (saw tooth voltage pulses) உருவாக்கும் தளர்வுறு அலை இயற்றி (relaxation oscillator). ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டரின் (uni junction transistor) சிறப்புப் பண்பு வளைகோட்டில் எதிர்மின்தடைப் பகுதி உள்ளது. இதுவே UJT-ஐத் தளர்வுறு அலை இயற்றியாகப் பயன்படுத்த காரணமாகிறது. மின்தேக்கி C, மின்கலம் V_{BB}–யின் ஆற்றலைக் கொண்டு, மின்தடை R வழியே மின்னேற்றம் பெறுகிறது. மின்னழுத்தம் V_E, UJT -இன் உமிழ்வாய்க்குத் தரப்படுகிறது. இம்மின்னழுத்தம், UJT-இன் உச்சப்புள்ளி மின்னழுத்தத்திற்கு (peak-point voltage) சமமானவுடன் UJT கடத்துகிறது. இதனால் மின்தேக்கி C, மின்தடை R_1 வழியே விரைவாக மின்னிறக்கம் செய்கிறது. இது ஒரு துடிப்பு மின்னழுத்தம் V_{B1}–ஐ தோற்றுவிக்கிறது. மின்னழுத்தம் V_E சரிந்து (drops) விடுவதால், UJT கடத்துவது நின்று விடுகிறது. மின்தேக்கி C மீண்டும் மின்னேற்றம் செய்கிறது. இவ்வாறாக மின்தேக்கி C, மின் தடை R வழியே மின்னேற்றம் (charging) பெறுவதும், மின்தடை R_1 வழியே மின்னிறக்கம் (discharging) செய்வதும் மாறி மாறி நிகழ்வதால், வெளியீட்டில் மின்னழுத் தத்துடிப்புகள் தொடர்ந்து உருவாகின்றன. இது SCRஐ (silicon controlled rectifier) கடத்திச் செய்யும் இயக்கியாகப் (trigger) பயன்படுகிறது.



ஒளியியல்
Optics

251 அணு நிறமாலை (Atomic spectrum)

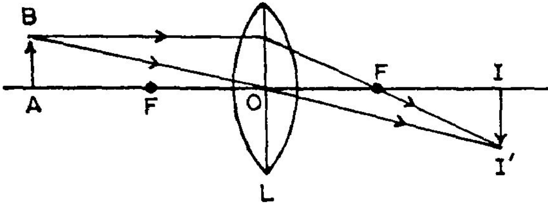
அணு நிறமாலை அல்லது வரி நிறமாலை என்பது வாயு நிலையிலுள்ள அணுக்கள் வெளியிடும் ஒளியால் தோன்றும் நிறமாலை ஆகும். அணு நிலையிலுள்ள பொருட்கள், உதாரணமாக சோடிய ஆவி விளக்கினுள் உள்ள சோடியம், மெர்க்குரி ஆவி விளக்கினுள் உள்ள மெர்க்குரி, மற்றும் மின் இறக்கக்குழாய்களில் உள்ள வாயுக்கள் முதலியன வரி நிறமாலையைத் தருகின்றன. இவ்வகை நிறமாலை தொடர்ச்சியற்றதாகும். காணும் வரிகள் வரையறுக்கப்பட்ட அலை நீளங்களைக் கொண்ட கூர்மையான வரிகளாகும். கட்டற்ற அணுக்கள் அதனுடைய சொந்த ஒளியின் தன்மையை உமிழ்வதால், தொடர் நிறமாலையைப் போல் இல்லாமல் வரி நிறமாலை பொருட்களின் அணுக்களின் உமிழும் தன்மையைப் பொறுத்திருக்கிறது. ஒவ்வொரு வரியும் ஒரு குறிப்பிட்ட அலை நீளத்தைக் கொண்டிருக்கும். ஆகவே, ஹைட்ரஜன், சோடியம், இரும்பு போன்றவற்றின், ஒரு குறிப்பிட்ட அலை நீளமுள்ள வரிகள் நிறமாலையின் குறிப்பிட்ட இடத்தில் பொருட்களின் தன்மையை விளக்குவதாக அமையும். வெவ்வேறு தனிமங்கள் கொண்ட, ஒரு கூட்டுப் பொருளின் அணு நிறமாலையை எடுத்தால், தனிமங்களின் தனித்தன்மை வாய்ந்த கோடுகளிலிருந்து, கூட்டுப் பொருளாக என்னென்ன தனிமங்கள் உள்ளன எனக் கண்டறிந்து விடலாம். மிகக் குறைவான அளவில் இருக்கும் (1/100000 அளவுள்ள) தனிமத்தைக் கூடக் கண்டுபிடித்து விடலாம். இந்த நிறமாலை ஆய்வு, நம்பிக்கையான, துல்லியமான முடிவுகளைத் தருகிறது. அணுவின் அமைப்புப் பற்றிய உண்மைகள் கிடைக்கின்றன. அணு நிறமாலையை அணுவின் மொழி எனலாம்.

252 அதிர்வு நிறமாலை (Vibrational spectrum)

படுஒளியின் மின்திசையி, மூலக்கூறுகளில் அலைவுறும் மின் திருப்புதிறனைத் தூண்டுவதால் மூலக்கூறுகள் ஹெர்ட்ஸ் அலையியற்றி போல் செயல்பட்டு γ அதிர்வு எண் கொண்ட கதிர்வீச்சை (நிறமாலை) வெளியிடுகின்றது. காட்டாக CO_2 மூலக்கூறில் உள்ள இரு C-O பிணைப்புகளில் ஒன்று இழுக்கப்பட்டு மற்றொன்று இறுக்கப்படும் போதும், அல்லது மூலக்கூறின் அணுக்கருக்களுக்கிடையே விலக்குவிசை, அணுக்கரு-எலக்ட்ரான்களுககிடையே உள்ள ஈர்ப்பு விசை ஆகியவற்றில் மாற்றம் ஏற்படும்போதும் மூலக்கூறின் இருமுனை திருப்பு திறனில் அலைவுறு மாற்றம் (periodic alterations) ஏற்படுகிறது. பிணைப்புகளின் நீட்சி, இறுக்கம் காரணமாக ஏற்படும் அலைவுகளை சுருள்வில்லின் அதிர்வுடன் ஒப்பிடலாம். இத்தகைய அலைவின் அதிர்வு எண் $\gamma = (1/2\pi)\sqrt{\frac{K}{\mu}}$ ஆகும். K = விசை மாறிலி (force constant); μ = சுருக்க நிறை (reduced mass). மூலக்கூறில் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்து வரிகள் தோன்றும். நீட்டியல் (Linear) மூலக்கூறுகளுக்கு 3N-5 வரிகளும், நீட்டியலற்ற (Non-linear) மூலக்கூறுகளுக்கு 3N-6 அதிர்வு வரிகளும் கிடைக்கும். காட்டாக, இரட்டையணு (H_2, N_2, O_2) மூலக்கூறுகளுக்கு 3 x 2 - 5 = 1 என ஒரு வரிதான் கிடைக்கும். அகச் சிவப்பு , இராமன் நிறமாலைகளில் கிடைக்கும் அதிர்வு நிறமாலைகள் படிகங்களை வகைப்படுத்தவும், மூலக்கூறுகளின் கட்டமைப்பை ஆராயவும் பயன்படுகின்றன.

253 இணைமாற்றுப் புள்ளிகள் (Conjugate points)

ஒளியியலில் வில்லைகள் என்பவை இரு கோளகப் பரப்புகளால் உள்ளடக்கப்பட்ட ஒரு ஒளிபுகு ஊடகம் ஆகும். வில்லையின் ஒரு பக்கத்தில் உள்ள பொருளிலிருந்து வெளிவரும் ஒளிக்கதிர், வில்லையின் மறுபக்கத்தில் பிம்பத்தினை உருவாக்கும். வில்லையின் பொருள் இருக்கும் பக்கத்தில் அமைந்துள்ள வெளி, பொருள்வெளி எனவும், பிம்பம் இருக்கும் வெளி பிம்பவெளி எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன. பொருள் வெளியில் ஏதேனும் ஒரு புள்ளியில் வைக்கப்படும் பொருளின் பிம்பம் பிம்பவெளியில் உள்ள ஏதேனும் ஒரு புள்ளியில் பெறப்படும். எடுத்துக் காட்டாக, படத்தில் பொருள் வெளியில் A எனும் புள்ளியில் ஒரு பொருள் வைக்கப்படின்,

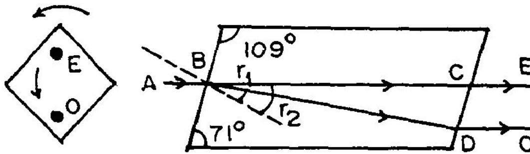


பிம்ப வெளியில் I எனும் இடத்தில் பிம்பம் உண்டாகிறது. இதேபோல் I எனும் புள்ளியில் பொருள் வைக்கப்படின் A எனும் புள்ளியில் பிம்பம் உண்டாகும். ஏனெனில் ஒளியின் நேர்–எதிர் மாற்றப் பண்பு விதியின்படி (law of reversibility) ஓர் ஒளிக்கதிர் திருப்பப்படின் அக்கதிர் தான் வந்த பாதையிலேயே திரும்பிச் செல்லும். இங்கு A, I புள்ளிகள் இணைமாற்றுப் புள்ளிகள் என அழைக்கப்படுகின்றன. எனவே, பொதுவாக, வில்லையின் இரு புறங்களிலும் உள்ள ஏதேனும் இரு புள்ளிகளில், ஒன்றில் பொருள் வைக்கப்படின் மற்றதில் பிம்பம் உருவாகுமேயானால், அவ்விரு புள்ளிகளுக்கு இணைமாற்றுப் புள்ளிகள் எனப் பெயர். படத்தில் L வில்லையையும் F வில்லையின் குவியத்தையம் குறிக்கும்.

254 இரட்டை ஒளிவிலக்கம் (Birefringence / Double refraction)

ஒரு கால்ஸைட் படிகத்தில் ஓர் ஒளிக்கதிர் விழுந்தால், அது படிகத்தினுள் இரு கதிர்களாக பிரிந்து செல்கிறது என்ற உண்மையை முதன்முதலாக 1669–ம் ஆண்டு பாரத்தோலினஸ் என்பவர் கண்டுபிடித்தார். இதில் ஓர் ஒளிவிலக்கக் கதிர், ஒளிவிலக்க விதிகளுக்கேற்ப அமையும். இது இயல்பான கதிர் (ordinary ray) என்றழைக்கப்படுகிறது; மற்றொரு ஒளிவிலக்கக் கதிர் பொதுவாக ஒளிவிலக்க விதிகளுக்குட்படாது; இது இயல்பற்ற கதிர் (extraordinary ray) என்றழைக்கப்படுகிறது. இத்தகைய விளைவு, குவார்ட்ஸ், மைகா போன்ற படிகங்களிலும் ஏற்படுகிறது. இவ்வாறு ஒரு படிகத்தில் ஒளி புகும்பொழுது அது இரு வழிகளில் பிரிந்து செல்வது இரட்டை ஒளிவிலக்கம் என்று கூறப்படுகிறது. சில படிகங்களில் ஒரு திசையிலும், குறிப்பிட்ட சில படிகங்களில் இரு திசைகளிலும் ஒளி விழும்போது, இத்தகைய ஒளிவிலக்கம் ஏற்படுவதில்லை. இவற்றில் முதல்வகைப் படிகம் ஓரச்சுப் படிகம் ஆகும் (uniaxial crystal). (காட்டு : கால்ஸைட், குவார்ட்ஸ், பனிக்கட்டி). இரண்டாம் வகைப் படிகம் ஈரச்சுப் படிகம் என்று கூறப்படும் (biaxial crystal). (காட்டு : மைககா, புடப ராகம், களிக்கல், அரோகனைட்). ஒரு காகிதத் துண்டில் ஒரு புள்ளியிட்டு, படத்தில் உள்ளவாறு சுற்றினால் இரண்டு பிம்பங்களில் ஒன்று நிலையாக இருப்பதையும் மற்றொன்று படிகத்தின் சுழற்சியுடன் சேர்ந்து சுற்றுவதையும் காணலாம். நிலையான பிம்பம் இயல்பான கதிர்களாலும் (O), சுற்றிவரும் பிம்பம் இயல்பற்ற கதிர்களாலும் (E) ஏற்படுகிறது.

இயல்பு ஒளிவிலகல் விதிகளுக்குட்பட்டு இயல்பான கதிரின் ஒளிவிலகல் எண் மாறாமலிருக்கும். எனவே அந்தக் கதிரின் திசைவேகம், ஊடகத்தின் எல்லாத் திசைகளிலும ஒன்றாக இருக்கும். ஆனால் இயல்பற்ற கதிரின் விலகலெண் திசைக்கேற்ப மாறுவதால் திசைவேகம் வெவ்வேறு திசைகளில் திசைக்கேற்ப மாறுகிறது. ரோச்சன் முப்பட்டகம், ஒல்லஸ்டன் முப்பட்டகம் கொண்டு இரு கதிர்களுக்குமுள்ள கோணப் பிரிவினைக் காணலாம்.



255 இரட்டைப் பட்டகம் (Biprism)

இரட்டைப் பட்டகம் என்பது ஒரே கண்ணாடித் துண்டிருலிருந்து அமைக்கப்படும் ஓர் அமைப்பு. இதை இரண்டு மெல்லிய முப்பட்டகங்களின் அடிப்பாகங்கள் ஒன்றோடொன்று பொருந்துமாறு இணைக்கப்பட்டதாகக் கருதலாம். இந்த இரட்டைப்

பட்டகத்தின் விரிகோணம் 179° க்கு அருகிலும், விலகு கோணங்கள் ஒவ்வொன்றும் 0.5° ஆகவும் இருக்கும். ஒளியின் தன்மைகளை அறிய ஒளிக்குறுக்கீட்டு விளைவு இன்றியமையாத ஒன்றாகும்.

ஃபிரெனல என்பவர் இரட்டைப் பட்டகத்தைப் பயன்படுத்தி, ஒரு தாய் ஒளிமூலத்திலிருந்து, இரண்டு ஒரியல் ஒளிமூலங்களைப பெற, ஒளி விலகல் முறையைக் கையாண்டார். படத்திலுள்ள அமைப்பைப பயன்படுத்தி, ஓர் ஒற்றை நிற ஒளியின் அலை நீளத்தைக் கண்டறிந்தார். மாயப் பிம்பங்கள் S_1 மற்றும் S_2 ஒரே ஒளிமூலத்திலிருந்து பெறப்பட்டதால் ஒரியல் தனிமங் களாகச் செயற்படுகின்றன. இவை பட்டகத்தின் மேல், கீழ் அரைப் பகுதிகளில் ஏற்படும், ஒளி விலகல் களால் முறையே உருவா கின்றன. கட்ட வேறுபாடு சுழியாகிறது. இரண்டு ஒளிமூலத்திலிருந்து வரும் ஒளியின் குறுக்கீட்டு விளைவால் பொலிவு மற்றும் கரும்பட்டைகள் சம அகலத்துடன் உருவாகின்றன. இரண்டு ஒளிமூலத்திலிருந்து திரைக்குமுள்ள தொலைவு D, ஒளிமூலங்களுக்கிடையே உள்ள தொலைவு d, பட்டை அகலம் β எனக் கொணடால், ஒற்றை நிற ஒளியின் அலை நீளத்தைக் கீழ்க்கண்ட தொடர்பினால் கணக்கிடலாம்.

$$\beta = \frac{D}{d}\lambda \text{ அல்லது } \lambda = \frac{\beta d}{D}.$$

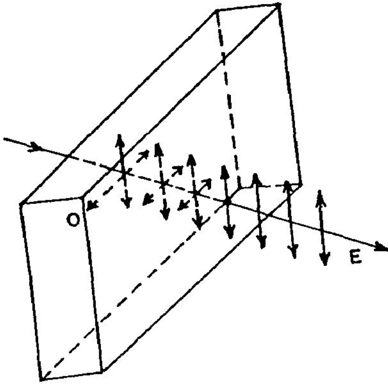
256 **இராமன் விளைவு** (Raman effect)

ஒளி ஊடுருவக் கூடிய ஓர் ஊடகத்தின் வழியே ஒளிக்கற்றை ஒன்றைச் செலுத்தினால், அவ்வொளி ஆற்றலில் ஒரு பகுதி அவ்வூடகத்தின் மூலக்கூறுகளால் சிதறடிக்கப்படுகின்றது. அவ்வூடகம் எவ்வளவு தூய்மையாகவும், தூசுகளின்றியும் இருந்தபோதிலும் இச்சிதறல் தொடர்கிறது. செலுத்தப்படும் ஒளி ஒற்றை அலையாயிருப்பின் சிதறுண்ட பகுதி மூன்று வகைப்படும் : 1. படு அலைக்குச் சமமான அலைநீளமுள்ள வரி; இது முதன்மை வரி (parent line) எனப்படுகிறது. 2. முதன்மை வரியைவிட அதிக அலைநீளமுள்ள வரிகள்; இவை ஸ்டோக்ஸ் வரிகள் எனப்படுகின்றன. 3. முதன்மை வரியைவிடக் குறைவான அலைநீளமுள்ள வரிகள்; இவை ஆன்டி – ஸ்டோக்ஸ் வரிகள் எனப்படும். பொருளின் மூலக்கூறுகளின் அதிர்வாற்றல் மற்றும் எலக்ட்ரான் பெயர்வாற்றல்களோடு ஒளியாற்றல் சேர்வதால் மேற்கண்டபடி சிதறடிக்கப்பட்டு வெளிவரும் ஒளிவரிகளின் அலைநீளங்கள் மாறி அமைகின்றன. இதையே இரமன் விளைவு என்கின்றனர். இராமன் இவ்விளைவை 1928–ஆம் ஆண்டில் கண்டுபிடித்தார். முதன்மை வரிக்கு இருபுறமும் ஒருங்கிசைவில் (symmetrical) தெரியும் ஒளிவரிகள் இராமன் வரிகள் எனப்படுகின்றன. ஒரு குறிப்பிட்ட ஊடகத்தைப் பொறுத்தவரை இராமன் வரிகளின் எண்ணிக்கை, முதன்மை வரியிலிருந்து அவை அமைந்த அலை, இடைவெளி (wavelength shift) முதலியன, மாறா அளவுகளாகும். இராமன் வரிகளின் இடைவெளி, மூலக்கூறின் அமைப்புப் பற்றிய விவரத்தைத் தருகின்றன. தற்போது இராமன் விளைவை மிக ஆற்றலுடைய லேசர் ஒளிக் கற்றைகளைப் பயன்படுத்தி அறிகிறார்கள்.

257 **இருநிறம் காட்டும் பண்பு** (Dichroism)

ஒரு கால்சைட் படிகத்தில் ஒளிக்கதிர் படும்பொழுது, அது படிகத்தினுள் இரண்டு கதிர்களாகப் பிரிந்து செல்கிறது. இவ்விரு கதிர்களில் ஒரு கதிர் (O), ஒளி விலகல்

விதிகளுக்கேற்ப அமையும். மற்ற கதிர் (E) ஒளி விலகல் விதிகளுக்கேற்ப அமையாது.



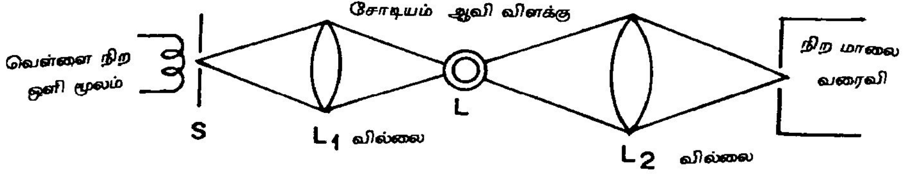
இவற்றில் முதல் கதிர் இயல்பான கதிர் என்றும், இரண்டாவது கதிர் இயல்பற்ற கதிர் என்றும் கூறப்படும். ஒரு படிகத்திலிருந்து இரு விலகல் கதிர்கள் உண்டாகும் இந்நிகழ்ச்சிக்கு இரட்டை விலக்கம் எனப் பெயர். சில படிகங்கள் அல்லது தாதுக்கள் இரட்டை விலக்கத்தை ஏற்படுத்துவ தோடு அல்லாமல் இயல்பான மற்றும் இயல்பற்ற கதிர்களை வெவ்வேறு அளவுகளில் உட்கவரவும் செய்கின்றன. இதன் விளைவாக நேரியல் தளவிளைவுற்ற (linearly polarized light) ஒளிக் கதிர்கள் வெளிவருகின்றன. படிகங்கள் அல்லது தாதுக்களின் இப்பண்பு 'இரு நிறம் காட்டும் பண்பு' என அழைக்கப்படுகிறது.

1852-ஆம் ஆண்டு ஹெராபாத் என்பவர் குனைனின் அயோடோ சல்பேட் [பின்பு இவை அவர் பெயரால் ஹெராபதைட் (herapathite) என அழைக்கப்பட்டன] எனும் இருநிறம் காட்டும் பண்பு உடைய சிறிய படிகங்களைச் செயற்கை முறையில் (synthetic) உருவாக்கினார். இப்படிகங்கள் அனைத்து நிறங்களுக்கும் நேரியல் தளவிளைவுற்ற ஒளியை உண்டாக்கும் திறன் கொண்டவையாக விளங்கின. ஆனால் இவை குறைந்த அழுத்தம் செலுத்தினாற்கூடப் பொடியாகி விடக்கூடிய மென்மையாக இருந்ததால், 1932-ஆம் ஆண்டு லான்ட் என்பவர் இப்படிகங்களை நொறுங்காத வகையில் ஒன்றோடொன்று சேர்த்து அமைத்து 'போலராய்டுகள்' எனும் தளவிளைவாக்குத் தகடுகளை (polarising sheets) உருவாக்கினார். போலராய்டுகள் நம் அன்றாட வாழ்வில் பெரிதும் பயன்படுகின்றன. முப்பரிமாணத் திரைப்படங்களை உருவாக்கவும், மோட்டார் வாகனங்களில் முகப்பு விளக்குகளின் சீரற்ற எதிரொளிப்பைக் குறைக்கவும் இவை பயன்படுகின்றன. மேலும் போலராய்டுகள் பழைய எண்ணெய் ஓவியங்களில் (oil paintings) நிறங்களை வேறுபடுத்திக் காட்டவும், இரயில் வண்டிகள் மற்றும் ஆகாய விமானங்களின் சன்னல்களிலும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

258 **உட்கவர் நிறமாலை** (Absorption spectrum)

தொடர் ஒளி மூலம் ஒன்றிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்வீச்சாற்றல், உட்கவர் ஊடகம் ஒன்றில் செல்லும்பொழுது, வரிசையாக உட்கவர் வரிகளும் உட்கவர் பட்டைகளும் கிடைக்கின்றன. இத்தொகுப்பை உட்கவர் நிறமாலை என்பர். ஒரு வெள்ளை நிற ஒளியை வண்ணமுள்ள திட, நீர்ம, வாயுப் பொருட்களில் செலுத்தி, வெளிவரும் ஒளியைப் பகுப்பாய்வு செய்தால், ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட தடித்த, கருப்பு நிறப் பட்டைகள் பெரும்பான்மையான நிறமாலைப் பகுதியில் பரவி இருக்கும். அவை பொது உட்கவர் பட்டைகள் எனப்படும். இப்பட்டைகள் இடையே வைக்கப்பட்ட ஊடகத்தின், வண்ணக் குளிர் உட்கவர்தலால் ஏற்படுகின்றன. உட்கவர்தலில் மிகவும் சிறப்பு வாய்ந்தது தேர்ந்த உட்கவர்தலாகும் (selective absorption). இதில், ஒரு தொடர் நிறமாலையில், நுண்ணிய இருள் வரிகள் தனித் தனியான இடங்களில் தொடர்ச்சியாகக் காணப்படும். இந்த இருள் வரிகள், மூலகங்களின் நிறமாலைகளில் வெளிவிடு வரிகள் தோன்றும் இடங்களில், தோன்றுகின்றன. இது குறித்து, புன்சனும் மற்றும் கிர்க்கஃப்பும் செய்த சோதனை ஒன்றை படத்தின் வாயிலாக அறியலாம்.

ஒரு திறன்மிக்க வெள்ளையொளியைக் கொண்டு S என்ற பிளவு, ஒளியூட்டம் பெறுகிறது. இந்த ஒளி, L_1 என்ற வில்லையால் ஒரு சோடியம் ஆவி விளக்கில் (L)



குவிக்கப்படுகிறது. விளக்கிலிருந்து வெளி வரும் ஒளியை L_2 என்ற வில்லை நிறமாலை வரைவியில் குவிக்கிறது.

முதலில் சோடியம் ஆவி விளக்கை மட்டும் எரியச் செய்தால், பொலிவு நிறைந்த இரு சோடியம் D-வரிகள் மட்டும் தோன்றும். சோடியம் விளக்கை அணைத்து விட்டு வெள்ளை நிற ஒளி மூலத்தை எரியச்செய்தால், ஒரு தொடர் நிறமாலை தோன்றும். இறுதியாக, சோடியம் விளக்கையும் வெள்ளை நிற ஒளிமூலத்தையும் சேர்ந்தாற் போல் எரியச் செய்தால் ஒரு தொடர் நிறமாலையும், அதில் ஏற்கனவே தோன்றிய இரு சோடியம் D வரிகள் இருந்த இடத்தில் இரு நுண்ணிய இருள் வரிகளும் இருக்கும். அதாவது, கிளர்ச்சி நிலையிலுள்ள சோடியம் அணுக்கள், இப்பொழுது அவை இயல்பாக வெளிவிடும் வரிநிலை ஆற்றலை உட்கவரும் நிலையில் உள்ளன என்பது தெளிவாகிறது. இதிலிருந்து, உட்கவர் வரிகள் தோன்ற ஒரு மூலகம் கிளர்ச்சி நிலையில் இருத்தல் வேண்டும் என்பதை அறியலாம்.

259 எலக்ட்ரான் சுழற்சி ஒத்திசைவு நிறமாலையியல் (Electron spin resonance spectroscopy)

ரேடியோ அதிர்வெண் பகுதியில் ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையே ஏற்படும் தாவுதல் நிகழ்ச்சி, புறக்காந்தப் புலத்தில் உள்ள அணுக்களில் உள்ள உட்கரு அல்லது எலக்ட்ரானின் எதிரிடையாக்கப்பட்ட சுழற்சியோடு தொடர்புடையது. எலக்ட்ரானின் சுழற்சியானது காந்தப்புலத்தில் லார்மர் அசைவாட்ட இயக்கம் என்ற பண்பைக் காட்டுகிறது. மின்காந்தக் கதிர்வீச்சின் அதிர்வெண்ணும், எலக்ட்ரானின் முன்னோடி இயக்க அதிர்வெண்ணும் சமமாக இருந்தால், மின்காந்தக் கதிர்வீச்சு எலக்ட்ரானுடன் ஓரியல்பாக இடைவினைச் செயல் புரிந்து ஒத்திசைவு உட்கவர்தல் நடைபெறும். இந்நிகழ்வு எலக்ட்ரான் சுழற்சி, ஒத்திசைவு எனப்படும். காந்தப்புலத்தில் உள்ள எலக்ட்ரானின் அனுமதிக்கப்பட்ட சுழற்சி, ஆற்றல் மட்டங்களுக்கு இடைப்பட்ட இடைவெளி லார்மர் முன்னோடி இயக்க அதிர்வு எண்ணுக்குச் சமமாக இருக்கும். எலக்ட்ரானின் சுழற்சி, ஆற்றல் மட்டங்களுக்கு இடையே நடக்கும் தாவுதல் நிகழ்ச்சி (சுழற்சி மாற்றம்)யின் போது வெளிப்படும் கதிர்வீச்சு ரேடியோ அதிர்வு எண பகுதியில் அமையும். ஒன்று அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட இரட்டையாகாத எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட அணுக்கள் மற்றும் மூலக்கூறுகளால் ஆன பொருட்கள் பாரா காந்தப் பண்பைக் காட்டுவதால் இந்தவகை நிறமாலையில் எலக்ட்ரான் பாரா காந்த ஒத்திசைவு நிறமாலையியல் எனப்படும். பொதுவாக Mn^{2+} அயனியை எந்த ஒரு படிகத்திலும் ஊடேற்றி, எலெக்ட்ரான் சுழற்சி ஒத்திசைவு நிறமாலை மூலம் படிகப் பண்புகளைக் காணலாம்.

260 எலக்ட்ரானிய நிறமாலை (Electronic spectrum)

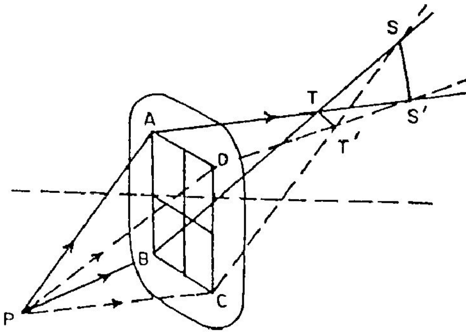
மூலக்கூறுகளின் எலெக்ட்ரான்கள், இரு ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையே தாவும்போது கிடைக்கும் நிறமாலை. ஓர் மூலக்கூறோடு தொடர்புடைய ஒரு எலக்ட்ரான் தனித்தனியான ஆற்றல் மட்டங்களில் ஏதேனும் ஒன்றில் இருக்கும். ஒவ்வொரு ஆற்றல் மட்டமும், தனித்தனி சுழற்சி அல்லது அதிர்வு ஆற்றலை உள்ளடக்கியிருக்கும். எலக்ட்ரான் ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்புடைய ஆற்றலை உள்ளேற்பதாலோ அல்லது வெளியிடுவதாலோ,

ஓர் ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து மற்றோர் ஆற்றல் மட்டத்திற்குத் தாவ முடியும். அதனால் தோற்றுவிக்கப்படும், போட்டானின் ஆற்றலின் மதிப்பு இரு மட்டங்களுக்கிடையேயான ஆற்றல் வேறுபாட்டிற்குச் சமமாக இருக்கும். ஒவ்வொரு ஆற்றல் மட்டமும் ஒருநிலைக் குறியீட்டினால் குறிக்கப்படுகிறது. அக்குறியீடு அணு முழுவதிற்குமான ஆற்றல் மட்டத்தைப் பறறியும் தெரிவிக்கிறது. எலகட்ரான் ஓர் ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து மற்றோர் ஆற்றல் மட்டத்திற்குத் தாவுவது தெரிவு விதிகளின் மூலம் நிர்ணயம் செய்யப்படுகிறது. மூலககூறுகளில் உள்ள எலக்ட்ரான்கள் ஓர் ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து மற்றோர் மட்டத்திற்குத் தாவுவதைப் பற்றி மின்காந்த நிறமாலையில் உள்ள கண்ணுறு மற்றும் புற ஊதாப் பகுதிகள் தெரிவிக்கின்றன. இத்தகைய எலக்ட்ரான்கள் இடப் பெயர்வில் அணுக்களின் வெளிக்கூட்டில் உள்ள வலுக் குறைந்த பிணைப்பு எலக்ட்ரான்கள் பங்கு வகிக்கின்றன. ஒரு அணுவில் எலக்ட்ரான் ஓர் ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து மற்றொரு மட்டத்திற்குத் தாவும்போது கிடைக்கும் நிறமாலையில் நன்கு வரையறுக்கப்பட்ட கூர்மையான வரிகள் கிடைக்கும். எனினும் மூலக்கூறுகள் தருவது பட்டை நிறமாலை (band spectrum) ஆகும்.

261 **ஒருதளப் பார்வை** (Astigmatism)

ஒரு வில்லையோ அல்லது ஆடியோ ஒரு புள்ளியின் பிம்பத்தை ஒற்றைப் புள்ளியாகக் காட்டாமல் ஓர் இடைவெளியால் பிரிக்கப்பட்ட இரு வரிக் கூறுகளாகக் (line segments) காட்டினால், அதை ஒருதளப் பார்வை என்பர். இது, வில்லைகளின் அல்லது ஆடிகளின் அசசிலிருந்து வெகு தொலைவிலுள்ள பொருள் புள்ளிகளின் பிம்பத்தில் ஏற்படும பிறழச்சியாகும். கீழ்க்காணும் படம் ஒருதளப் பார்வைப் பிறழ்ச்சியை விளககுகிறது.

P எனபது வில்லையின் அச்சிலிருந்து வெகு தொலைவிலுள்ள ஒரு புள்ளிப் பொருள் ஆகும். P-யின் வழியாகவும் மற்றும் முதன்மை அச்சு வழியாகவும் செல்லும் தளம் தொடுநிலைப் பகுதியாகும் (tangential section). இதற்குச் செங்குத்தாகவும் மற்றும் முதன்மை அச்சு வழியாகவும் செல்லும் தளம் கம்புரு பகுதியாகும் (sagittal section). மையத்திற்கு அருகில் வில்லையின் ABCD என்ற ஒரு சிறிய துளையை (aperture) எடுத்துக் கொள்வோம். அப்படியும், அச்சிலிருந்து முக்கியக் கதிர் அதிகச் சாய்வாக இருப்பதால், P-யிலிருந்து வரும் ஒரு குறுகிய ஒளிக்கற்றை, ஒளி விலகலுக்குப் பின், ஒரு புள்ளியில் சந்திப்பதில்லை. ஒரு தொடு நிலைப் பகுதியுள்ள PA, PB என்ற கதிர்கள் T-என்ற புள்ளியில் சந்திக்கின்றன. AB என்ற தொடுநிலைப் பகுதியிலிருந்து, CD என்ற பகுதியை நோக்கி நகர்வோ மானால், T என்ற புள்ளி T' என்ற புள்ளிககு நகர்வதைப் பார்ககலாம். ஆகவே TT' என்பது ஒரு வரிப் பிம்பமாகும். அதேபோல SS' என்பது மற்றொரு வரிப் பிம்பமாகும். TT', SS' என்பவை முறையே P-யின் தொடுநிலை, அம்புரு பிம்பங்களாகும். அவற்றின் நீளங்கள் முறையே தொடுநிலை, அமபுரு தளங்களுக்குச் செங்குத்தாக இருக்கும். இந்தப பிம்பங்கள் P-யின் ஒருதளப் பாாவைப் பிம்பஙகள் எனப்படும். முதன்மை அச்சிலிருந்து முதன்மைக் கதிர் அதிகச சாயவாக இருந்தால், சிறு துளை வில்லைகள் மற்றும் ஆடிகள் ஆகியவற்றிலும் இப்பிழை இருக்கும்.



262 ஒளியின் அலைக்கொள்கை (Wave theory of light)

ஒளியின அலைககொள்கை 1678–ல் ஹைஹெஜன் என்பவரால் முன்மொழியப்பட்டது ஒளி அலைகள் ஈதர் எனற கற்பனை ஊடகததில் பரவுவதாகக கொள்ளப்படடது. வெளி முழுவதும ஊடுருவி நிற்கும் அதிக மீளதிறனுடைய, மெல்லிய, நுட்பமான பொருளாக ஈதர் கருதப்பட்டது நீரின மேறபரப்பில் இருபரிமாணஙகளில் சிற்றலைகள் பரவுவது போலப் புள்ளித் தோற்றுவாயிலிருநது முப்பரிமாணத்தில் கோளவடிவ ஒளி அலைகள் தோன்றுகின்றன ஈதரின் ஒவ்வொரு புளளியிலும அமைதிக குலைவு (disturbance) ஏற்பட்டதும அவை புதிய தோற்றுவாயாகச் செயலபடடு இரண்டாம நிலை (secondary) அலைகளை உருவாககுகின்றன ஒளி பரபபபபடுமபோது ஏற்படும அதிர்வுகள எல்லாத திசைகளிலும சம ஆற்றலுடன் பரவுகின்றன. இவ்வலைகள கணணின விழித திரையில் படுமபோது ஒளி உணாவு உணடாக்கப்படுகிறது. இவவலைகளை நெடடலைகள எனககருதி ஒளியின எதிரொளிபபு, விலகல் குறுககீ டடு வளைவு, விளிமபு விலகல் போன்றவை விளக்கப்பட்டன. ஒளி அலைகளை குறுக்கலைகள் எனக்கருதி பிரெனல் தளவிளைவை விளககினாா பல காலம் ஒபபுக கொளளப்படாமலிருந்த இக்கொள்கை சரியானது என்பது ஃபோகால்டின சோதனை மூலம மெய்ப்பிக்கபபடடது.

263 ஒளியின் நுண்ணிமக் கொள்கை (Corpuscular theory of light)

ஒளி ஆறறலை ஒரிடத்திலிருந்து மற்றோா இடததிறகுக கடத்துவதறகு இரு வழிமுறைகள உளளன. இயங்கும துகள மூலம ஆற்றலை இடமாறறம செயவது ஒரு முறையாகும். அலை இயககததால் ஆறறலை இடம் பெயரச் செய்தல் மற்ற முறையாகும. இவறறில் முதல் வழிமுறையைப் பின்பறறும் கொள்கைககு நுண்ணிமக கொள்கை (corpuscular theory) எனறும, இரண்டாம் வழிமுறையைப பின்பறறும கொள்கைககு அலைக கொள்கை (wave theory) என்றும பெயர் நுணணிமக கொள்கை 17–ஆம நூறறாணடில் நியூடடனால உருவாககப்படடது. இக் கொள்கைபபடி ஒளியை வெளிவிடும் ஒவவொரு பொருளும நுணணிமங்கள (corpuscular) எனப்படும மிகச சிறிய எடையற்ற, மீடசித தன்மை பொருநதிய துகள்களை உமிழகினறன. இததுகளகள ஒளிரும பொருளிலிருந்து புறபபடடு அனைத்துத திசைகளிலும ஒளியின திசைவேகத்துடன நோகோடடில் இயங்குகின்றன. இவை கணணின விழித்திரையின் மீது மோதுவதாலேயே பாாவை உண்டாகிறது. ஒளியின் வெவவேறு நிறங்களைப் பொறுத்து, நுண்ணிமங்களின பருமன்கள் மாறுபடுகினறன. ஒளியின் எதிரொளிப்பு மற்றும விலகல் (refraction) ஆகிய பண்புகளை நுணணிமக கொளகையின் மூலம் விளககு முடிந்தது. ஆனால் ஒளியின் குறுக்கீடடு விளைவு (interference), விளிமபு விளைவு (diffraction) மற்றும தளவிளைவு (polarisation) போனற பண்புகளை இக் கொள்கையால் விளகக இயலவில்லை. 1679–ஆம ஆண்டு ஹைஹெஜன எனபவா மேற்குறிப்பிடட ஒளியின அனைத்துப பணபுகளையும விளககும வகையில் ஒளியின் அலைக கொளகையை உருவாககினாா.

264 ஒளியியல் பாதை (Optical path)

ஓர் ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் (μ) எனபது, வெறறிடத்தில் ஒளியின் திசைவேகத்திற்கும் (C_o), அவவூடகததில ஒளியின் வேகத்திறகும (C_m) உள்ள தகவாகும.

$$\mu = \frac{c_0}{c_m}.$$

ஒளியின் திசைவேகம, அதன அதிர்வெண (f), அலைநீளம் (λ) இவறறின பெருககற பலனாகும்.

$$c = f\,\lambda.$$

ஒளி ஓர் ஊடகத்திலிருந்து மற்றோர் ஊடகத்திற்குச் செல்லும் போது அதன் அதிர்வெண் மாறுதலுக்கு உள்ளாவதில்லை. ஆனால் அலைநீளம் மாறுபடுகின்றது. எனவே

$$\mu = \frac{\lambda_0}{\lambda_m}$$

என்றும் கூறலாம். இரு ஊடகங்களின் ஒளிவிலகல் எண் μ_1, μ_2 என்றும் அவற்றில் ஒளியின் அலைநீளம் λ_1, λ_2 என்றும் கொண்டால்,

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1},$$

அல்லது, $\mu_1\lambda_1 = \mu_2\lambda_2 =$ மாறிலி எனலாம். இதையே ஒளியியல் பாதை என்று குறிப்பிடுகின்றார்கள். இதன்படி ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஓர் ஊடகத்தில் ஒளி கடந்த பாதை மற்றும் அவ்வூடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் இவற்றின் பெருக்கற் பலனை ஒளியியல் பாதை என்று கூறலாம். ஊடகம் எதுவாக இருப்பினும், அக் குறிப்பிட்ட நேரத்திற்கு ஒளியின் ஒளியியல் பாதை சமமாகவே இருக்கும்.

265 **ஒளிப்பிறழ்ச்சி** (Optical aberration)

ஓர் ஒளி அமைப்பில், சரியான பிம்பத்திலிருந்து மாறுபட்ட பிம்பம், உருவாவதை ஒளிப்பிறழ்ச்சி என்பர். எடுத்துக்காட்டாக, கோளகப் பிறழ்ச்சி (spherical aberration), கோமா (coma), ஒரு தளப் பார்வை (astigmatism), புல வளைவு (curvature of the field), திரிபு (distortion), மற்றும் நிறப்பிறழச்சி (chromatic aberration) ஆகியவை இதில் அடங்கும்.

கோளகப் பிறழ்ச்சி: தொடக்கத்தில், ஒளி அச்சிலிருந்து வெவ்வேறு தொலைவுகளிலுள்ள கதிர்கள், கோள ஆடியிலிருந்து எதிரொளிக்கப்பட்ட பின்போ அல்லது கோளப் பரப்பு வில்லைகளிலிருந்து ஒளிவிலகல் ஏற்பட்ட பின்போ, அச்சின் வழியாக வெவ்வேறு தொலைவுகளில் குவிவதாகும். **கோமா:** ஓர் ஒளி அமைப்பில், ஒரு புள்ளியானது சமச் சீர்மையற்ற (asymmetrical) பிம்பமாகத் தோன்றுவது (அதாவது, பேரி வடிவத்தில் – pear shaped – தோன்றும்). **ஒருதளப் பார்வை**: ஒரு வில்லையோ அல்லது ஆடியோ ஒரு புள்ளியின் பிம்பத்தை ஒற்றைப் புள்ளியாகக் காட்டாமல், ஓர் இடைவெளியால் பிரிக்கப்பட்ட இரு வரிக் கூறுகளாகக் காட்டுவது (line segments). **புலவளைவு:** ஓர் ஒற்றை வில்லையில், நீட்டப்பட்ட ஒரு தளப் பொருளின் (extended plane object) பிம்பம் கிடையாக அல்லாமல் வளைவு பரப்பாக இருக்கும். காரணம் அச்சுக்கு அருகிலுள்ள பிம்பத்தின் நடுப்பகுதி குவிந்திருக்கும். ஆனால், அச்சிலிருந்து பிம்பத்தின் வெளிப் பகுதிகள் தெளிவற்றதாக இருக்கும். இக்குறைபாடு அச்சருகு குவியத் தூரம் ஓரக் குவியத் தூரத்தை விட அதிகமாக இருப்பதால் ஏற்படுவதாகும். **திரிபு:** உருப்பெருக்கானது, அச்சிலிருந்து கோண தூரத்தைப் பொருத்து மாறுவதால், ஒளி அமைப்பில் ஏற்படும் குறையாகும். இதனால் நேர்கோடுகள் வளைவாகத் தோன்றும். **நிறப்பிறழ்ச்சி:** ஒரு வில்லை எப்பொருளால் ஆனதோ அப்பொருளின் ஒளிவிலகல் எண் ஒளியின் வெவவேறு அலைநீளங்களை (வண்ணங்களை) பொருத்து மாறுபடுவதால், வில்லை வெவ்வேறு அலைநீளங்களை வெவ்வேறு புள்ளிகளில் குவிப்பதால் ஏற்படும் குறைபாடாகும்.

266 **காண்டெலா** (Candela)

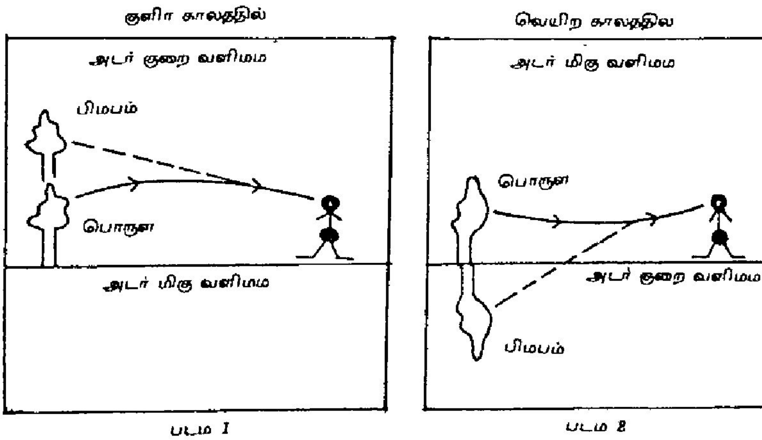
ஒளியை உமிழும் ஒளி மூலங்களின் ஒளி வீசுதிறனை அளவிட ஒரு அடிப்படை அலகாக காண்டெலா பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஆரம்ப நாட்களில் ஒளி மூலங்களின் ஒளி வீசுதிறனை அளவிட 'காண்டில் திறன்' (Candle power) எனும் அலகு பயன்படுத்தப்பட்டது. அந்த அலகு, ஒரு மெழுகுவர்த்தி எரியும்போது வெளிவரும் ஒளித்திறனை

அடிப்படையாகக் கொண்டு அமைந்தது. ஆனால், மெழுகுவர்த்தியின் ஒளி வீசுதிறன், அதில் உள்ள திரியின் வடிவம், வெவ்வேறு பருவ காலங்கள் ஆகியவற்றைப் பொறுத்து மாறுவதால், காண்டில் திறனை அறிவியலில் ஒரு படித்தர அலகாக (standard unit) கருத இயலவில்லை. எனவே அறிவியலாளரால் 1948 ஆம் ஆண்டு ஒளி வீசுதிறனை அளவிட பொதுப் படித்தர அலகு ஒன்று உருவாக்கப்பட்டது. இதன்படி, ஒரு ச. செ. மீ. அளவுள்ள கரும்பொருள் ஒன்று பிளாட்டினத்தின் உருகு நிலையான 1773 °C யில இருக்கும்பொழுது வீசும ஒளி ஆற்றலில் அறுபதில் ஒரு பாகம், அனைத்துலகப் படித்தரக் காண்டில் எனப்படும். இந்த அலகிற்கே, 'காண்டெலா' எனப் பெயர். தற்பொழுது மின்விளக்குகள், வெண்சுடா விளக்குகள் (incandescent lamps) போன்றவற்றின் ஒளி வீசுதிறனை அளவிட காணடெலா எனும் அலகே பயன்படுத்தப்படுகிறது.

267 கானல் நீர் (Mirage)

வளிமணடல வளிமததின் செறிவில வெபப ஏறறத்தாழவு காரணமாக உயரத்திறகு ஏறப ஒரு முரணிய சரிவு ஏறபடுமானால், அதன் விளைவாக அவவூடகததை ஊடுறுவிச செல்லுமஒளிககதிாகள் வளைந்த பாதையில செலலும. அதனால் தொலைவுப பொருடகளிலிருந்து வரும ஒளிககதிாகள முழு அக எதிரொளிபபுககு (total internal reflection) உள்ளாகி, பிம்பத்தில ஒரு பொய்த் தோறறததைப் புகுத்தி விடுகினறன. இதையே கானல் நீர் என்பா.

வெயிற் காலத்தில் பூமியின் மேற்பரபபு விரைந்து சூடேறுவதால, அதை ஒட்டியுள்ள பகுதி வளிமம் வெதுவெதுப்பாகவும், சற்று உயரத்தில் உள்ள வளிமம் குளிர்ந்தும் இருக்கும். உயரத்திற்கு ஏற்ப அமையும இந்த வெப்பநிலைச சரிவு தரைமடடத்திலுள்ள வளிமத்தை அடாத்தி குறைவானதாகவும, அப்பாலுள்ள வளிமத்தை அடாததி கூடுதலானதாகவும இருககுமாறு செயகின்றது. அடாததி வேறுபாடான



படம 1 படம 2

ஊடகங்களில செல்லும் ஒளிக்கதிா தன் பாதையிலிருந்து விலகி வளைநது செல்லும. இது பொருளின பிமபததில் ஒரு மாயத்தோற்றம ஏற்படக் காரணமாகினறது பிமபம கிடைமட்டக் கோடடிறகுக கீழமைந்தால், அதைத் தாழ்நிலைக் கானல் நீா (inferior mirage) என்றும் (படம்1), மேலமைந்தால மேல்நிலைக் கானல் நீர் (superior mirage) என்றும (படம்2) கூறுவா. வெயிற் காலத்தில நெடுஞ்சாலைகளில் பயணம செய்யும்போது இம மாயத்தோற்றம் காண வாய்பபுணடு. அப்போது பொருளின் அடியில் ஒரு மாய நீரப்பரபபு இருப்பதால் பொருளின தலைகீழ பிம்பம் தெரிகின்றதோ என நினைத்து ஏமாறுகின்றோம.

268 கிர்க்காஃப் கொள்கை (Kirchoff's theory)

சூரிய ஒளி நிறமாலையில் காணப்படும் கருமைநிற வரிக்கோடுகளை கிர்க்காஃப் விதியைக் கொண்டு விளக்கலாம். கிர்க்காஃப் விதி : 'எந்த ஒரு வெப்ப நிலையிலும் ஒரு பொருளின் கதிர்வீச்சுத் திறனுக்கும், உட்கவர்திறனுக்கும் உள்ள தகவு ஒரு மாறிலியாகும். இந்த மாறிலி, அந்த வெப்ப நிலையில் ஒரு முழுக்கரும்பொருளின் கதிர்வீச்சுத் திறனுக்கு ஒப்பாக இருக்கும். அதாவது நல்ல உமிழ்திறனுள்ள ஒரு பொருள் நல்ல உட்கவர்திறனையும் பெற்றிருக்கும்.'

சூரிய ஒளி சூரியனின் உட்பாகமாகிய ஒளி மண்டலம் (photosphere) என்ற பகுதியில் உண்டாகிறது. ஒளி, குறைந்த வெப்ப நிலையிலுள்ள நிறமண்டலம் (chromosphere) என்ற பகுதிவழியாக வெளிவருகிறது. வெளிப்பகுதியான நிறமண்டலம் பல வாயுக்களாலானது. இந்த வாயுக்கள், உயர்ந்த வெப்ப நிலையிலிருக்கும்போது எந்த அலைநீளக் கதிர்களை வெளியிடுமோ, அதே அலைநீளமுள்ள கதிர்களைத்தான் குறைந்த வெப்ப நிலையிலிருக்கும்போதும் உட்கவரும். இதனால்தான் சூரிய ஒளி நிறமாலையில் கருமைவரிகள் தெரிகின்றன.

269 குண்ட்ஸ் விதி (Kundt's rule)

ஒரு திரவக்கரைசலில் உள்ள தொகுப்புகள் (composition) மாற்றம் அடையும்போதும், வேறு சில காரணங்களாலும் திரவத்தின் ஒளி விலகல் எண் (refractive index) அதிகரிக்கும். இவ்வாறு ஒளிவிலகல் எண் அதிகரிக்கும் திரவக்கரைசலில் உண்டாகும் ஒளியியல் உட்கவர் பட்டைகள் (optical absorption bands), நீண்ட அலை நீளமுடைய சிவப்புப் பகுதியை (red region) நோக்கி இடப் பெயர்வு அடையும். இதுவே ஒளியியலில் 'குண்ட்ஸ் விதி' எனப்படும்.

270 கூட்டு வில்லை (Compound lens)

இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட வில்லைகளைக் கொண்டு பயன்படுத்தப்படும் வில்லை அமைப்பிற்கு (lens system) 'கூட்டு வில்லை' எனப் பெயர். கூட்டு வில்லைகள், நுண்ணோக்கிகள் (microscope) மற்றும் தொலைநோக்கிகளில் (telescope) பொருளருகு வில்லைகளாகவும் (objective), கண்ணருகுப் பகுதிகளாகவும் (eye piece) பயன்படுததப்படுகின்றன. பொதுவாக நுண்ணோக்கிகள் அல்லது தொலைநோக்கிகளில் பொருளிலிருந்து வரும் ஒளிக்கற்றை பொருளருகு வில்லை வழியாகக் கண்ணருகு வில்லையை அடைந்து, பின் பார்ப்பவரின் கண்களை அடைகிறது. பொருளருகு வில்லை என்பது, நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கப்பெற்ற இரு குவிவில்லைகளை (convex lens) கொண்ட கூட்டு வில்லை அமைப்பாகும். கண்ணருகு பகுதி என்பது சிறிது இடைவெளி விட்டு அமைக்கப்பட்ட இரு குவிவில்லைகளைக் கொண்டு அமைக்கப்பட்ட கூட்டு வில்லையாகும். கண்ணருகு மற்றும் பொருளருகு வில்லைகளுக்கிடையே உள்ள தொலைவை மாற்றுவதன் மூலம் தகுந்த தேவையான உருப்பெருக்கம் கொண்ட பிம்பம் பெறப்படுகிறது. கூட்டு வில்லைகளை நுண்ணோக்கிகளிலும் தொலைநோக்கிகளிலும் பயனபடுத்தப்படுவதால் தகுந்த உருப்பெருக்கம் கொண்ட, கோளகப் பிறழ்ச்சி (spherical aberration), நிறப்பிறழ்ச்சி (chromatic aberration) போன்ற பிம்பக் குறைபாடுகள் நீக்கப் பெற்ற பிமபங்கள் பெறப்படுகின்றன.

271 கெர் விளைவு (Kerr effect)

கண்ணாடி, நைட்ரோ பென்சீன் திரவம் ஆகிய ஊடகங்களில், மின்புலம் செலுத்தபபட்டால், அவ்வூடகங்கள் ஓரச்சுப் படிகங்கள் (uniaxial crystals) போல் செயற்படும். படிகத்தின் ஒளியச்சு (optical axis) மின்புலத்தின் திசையில் இருக்கும். இவ்வூடகத்தில் ஒளி

நீள்வட்டத் தளவிளைவை (elliptical polarisation) அடையும். இவ்விளைவு, கால் அல்லது அரை அலைத் தட்டுகளில் (quarter or halfwave plate) நிகழ்வதுபோல ஊடகத்தின் தடிமனைச் சார்ந்திருக்கும். இதுவே 'கெர் விளைவு' எனப்படும்.

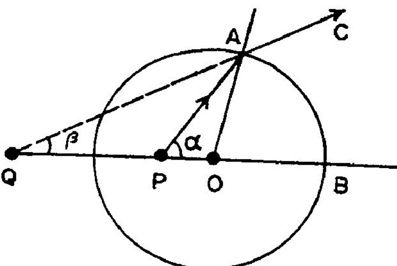
முதன்மைத் தளங்கள் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக வைக்கப்பட்ட இரு போலராய்டு(polaroid) களுக்கு இடையே நைட்ரோ பென்சீன் திரவம் வைக்கப்பட்டால், இத்திரவத்தின் வழியே ஒளி ஊடுருவிச் செல்ல முடியாது. இந்நிலையில், இவ்வமைப்பில் தகுந்த மின்புலம் செலுத்தினால், ஒளி ஊடுருவிச் செல்லும். மின்புலத்தை மாறிமாறிச் செலுத்தியும் நீக்கியும் இவ்வூடகத்தை வேகமாக மூடிமூடித் திறந்து கொள்ளும் ஒரு தானியங்கித் தடுப்பானாக (automatic shutter) செயற்பட வைக்கலாம். இவ்வமைப்பே 'கெர் கலம்' (Kerr cell) எனப்படும்.

272 கேய்சர் (Kayser)

மின்காந்த நிறமாலையியலில் மெட்ரிக் (S.I) அலகுகளில் அலை எண் (wave number) மீ$^{-1}$ (m^{-1}) என்ற அலகினால்தான் குறிப்பிடப்பட வேண்டும். எனினும், நடைமுறையில் செ.மீ.$^{-1}$ (cm^{-1}) என்ற அலகுதான் பயன்படுத்தப்பட்டு வருகிறது. அலை எண் மீ$^{-1}$ என்ற அலகால் குறிப்பிடப்படுவதே 'கேய்சர்' எனப்படும். எனினும் இது வழக்கத்திலில்லை. இதன் சிறிய அலகாகிய மில்லி கேய்சர் (mK) மீநுண் அலை அமைப்புகளிலும் (hyperfine structure) மற்றும் கோட்டிடை தூரங்களை (line width) நிர்ணயிப்பதிலும் பயன்படுத்தப்பட்டு வருகிறது. 1mK = 30MHz என்ற ஒப்புமையை நினைவில் கொள்ளவேண்டும்.

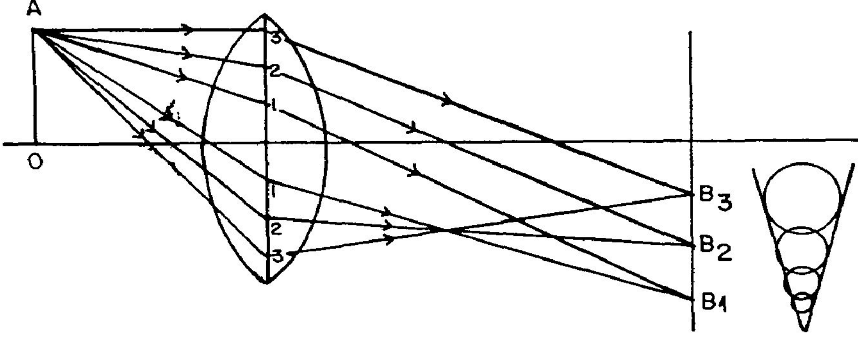
273 கோட்டமிலா வில்லை (Aplanatic lens)

இது கோளகப் பிறழ்ச்சி, கோமா ஆகிய குறைபாடுகள் நீங்கிய கோளவில்லை. மேற்கூறிய குறைபாடுகள் நீங்கிய ஓர் இணை உடன்மாற்றுப் புள்ளிகள் (conjugate points) கோட்டமிலாப் புள்ளிகள் ஆகும். கோட்டமிலா வில்லையின் இயல்பைப் படம் விளக்குகிறது: O என்பது, வளைவு ஆரம் R, ஒளி விலகலெண் μ உள்ள ஒரு வில்லையின் வளைவு மையம். P என்பது வில்லை அச்சின்மேல் உள்ள, PO = R/μ என்ற நிபந்தனைகுட்பட்ட, ஒரு புள்ளியாகும். PA என்பது படுகதிர். AC என்பது விலகு கதிர். AC என்ற கதிர் P-யின் பிம்பமான Q என்ற புள்ளியிலிருந்து விரிந்து செல்வது போல் (diverse) தோன்றும். α, β என்பவை முறையே படுகதிர், விலகுகதிர் ஆகியவற்றால் ஏற்படுகின்ற சரிவு கோணங்களாகும் (slope angles). OQ = μR என நிரூபிக்கலாம். எனவே, பொருள் புள்ளியின் தூரம் O-விலிருந்து R/μ எனில், சரிவு கோணங்கள் α, β எதுவாக இருப்பினும், பிம்பப் புள்ளி Q-யின் தூரம் μR ஆகும். ஆகையால் P-யிலிருந்து வரும் அனைத்துக் கதிர்களும் அவைகளின் சரிவுகள் எதுவாக இருப்பினும், ஒளிவிலகலுக்குப் பின் Q- என்ற புள்ளியிலிருந்து விரிந்து செல்வது போல் தோன்றும். P, Q என்ற பரிமாற்றுப் புள்ளிகள் கோளத்தின் கோட்டமிலாப் புள்ளிகளாகும். OP, OQ என்பனவற்றை ஆரங்களாக வைத்து, O-வைச் சுற்றி இரு கோளங்கள் வரைந்தால், முதல் கோளத்தின் மேல் உள்ள ஒவ்வொரு பொருள் புள்ளிக்கும், இரண்டாவது கோளத்தில், கோளகப் பிறழ்ச்சி நீங்கிய ஒரு பிம்பப் புள்ளி இருக்கும். இவ்விரண்டு பரப்புகளும் கோட்டமிலாப் பரப்புகளாகும். இத்தத்துவம் எண்ணெய் அமிழ்வு வில்லைகளிலும் (oil immersion lens), பிறைத்தள வில்லைகளிலும் (meniscus lens) பயன்படுத்தப்படுகின்றது.



274 கோமா (Coma)

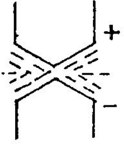
ஒரு வில்லையின் முதன்மை அச்சுக்கு (principal axis) வெளியே ஒரு புள்ளிப் பொருள் வைக்கப்படின், அப்பொருளின் பிம்பம் ஒரு புள்ளியாக அமையாமல் ஒரு வால் நட்சத்திரத்தைப் போல அமைகிறது. இப்பிம்பக் குறைபாட்டிற்கு கோமா எனப் பெயர்.



ஒரு புள்ளியிலிருந்து வெளிவரும் அனைத்து ஒளிக்கதிர்களையும் வில்லையினால் ஒரே புள்ளியில் குவிக்க இயலாததாலும், வில்லையின் வெவ்வேறு பகுதிகள் உருவாக்கும் பக்க உருப்பெருக்கங்கள் வெவ்வேறு அளவுகளில் இருப்பதாலும் கோமா குறைபாடு தோன்றுகிறது. படத்தில் ஒளிக் கதிர்கள் ஒரே புள்ளியான A-யிலிருந்து வெளிப்படினும், (1, 1), (2, 2) (3, 3) ஆகிய வெவ்வேறு பகுதிகளால் விலகலடைந்து, B_1, B_2, B_3 ஆகிய புள்ளிகளில் குவிக்கப்படுகின்றன. வில்லையின் ஒவ்வொரு பகுதியும் பொருளின் பிம்பத்தை வட்ட வடிவில் தோற்றுவிக்கின்றன. வில்லையின் வெவ்வேறு பகுதிகளின் ஆரங்கள் அதிகரிக்கும்போது அப்பகுதிகளால் உருவாகும் வட்ட வடிவப் பிம்பங்களின் ஆரங்களும் அதிகரிக்கின்றன. எனவே B_1 எனும் புள்ளியில் ஒரு புள்ளிப் பிம்பமும், அதிலிருந்து மேல் நோக்கிச் செல்லச் செல்ல, படிப்படியாக ஆரம் அதிகரிக்கும் தொடர்ச்சியான வட்டவடிவப் பிம்பங்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இதன் விளைவாகப் பிம்பம் முழுவதும் ஒரு வால் நட்சத்திரம் போலத் தோன்றுகிறது. கோமா குறைபாட்டை, (i) தகுந்த வளைவு ஆரங்கைகளைக் (radius of curvature) கொண்ட வில்லைகளைத் தெரிந்தெடுப்பதன் மூலமும், (ii) தகுந்த தடுப்பான்களை (stoppers) வில்லையிலிருந்து தகுந்த தொலைவுகளில் அமைப்பதன் மூலமும், (iii) $\mu_1 Y_1 \sin\theta_1 = \mu_2 Y_2 \sin\theta_2$ எனும் சமன்பாட்டை (ஆபே எனும அறிவியலாரின் நிபந்தனை) ஒரு வில்லை நிறைவு செய்வதன் மூலமும் குறைககலாம். இங்கு μ_1, μ_2 என்பன, முறையே பொருளும் பிம்பமும் இருக்கும் ஊடகங்களின் ஒளிவிலகல் எண்களையும், Y_1, Y_2 ஆகியவை பொருள், பிம்பம் ஆகியவற்றின் உயரங்களையும், θ_1, θ_2 என்பன படுகதிரும், அதோடு தொடர்புடைய வெளிவருகதிரும் அசசோடு அமைக்கும் கோணங்களையும் குறிக்கின்றன.

275 சுடர் நிறமாலை (அ) வில் நிறமாலை (Arc spectrum)

மெர்ககுரிச்சுடர் விளக்கு, கரிசசுடர் விளக்கு, ஆகியவை வாயுக்களின் ஊடே, மின்னிறககத்தால் தோற்றுவிக்கும் ஒளி மூலங்கள் ஆகும். இவற்றால் தோற்றுவிக்கப்படும் நிறமாலை, சுடர் நிறமாலையாகும். கரிசசுடர் விளக்குகளைப் பயன்படுத்தி, பொருட்களின் சுடர் நிறமாலையைப் பெறலாம. இவ்வகை விளக்குகளில், பருமனான கரிக்கட்டை நேர்மின் வாயாகவும் சற்று மெல்லிய கரிக்கட்டை, எதிர்மின் வாயாகவும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இவற்றிற்கிடையே 40 முதல் 45 வோல்ட் மின்னழுத்தமும், 12 ஆமபியர் நேர்மின்னோட்டமும் பாய்ச்சி, இவ்விரு முனைகளையும் ஒன்றிற்கொன்று தொடடுக் கொண்டிருக்குமாறு செய்து, பின், சிறு தொலைவுக்கு விலக்கிவிட்டால்,



இவற்றிற்கிடையே அதிக ஒளியோடு கூடிய சுடர் தோன்றுகிறது. இச்சுடரே பின் மின்கடத்தியாகச் செயற்பட்டுத் தொடர்ந்து ஒளிர்கிறது. கரிக்கட்டையில் சிறு குழி செய்து அதில் உப்புகளை வைத்து, ஒளிச் சுடரை உண்டாக்கினால், உப்புகள் ஆவியாகி, அதிலிருந்து கிடைக்கும நிறமாலையிலுள்ள கோடுகள், வைக்கப்பட்ட உப்பிலுள்ள பொருட்களின் தன்மை உள்ளதாக இருக்கின்றன. இத்தகைய நிறமாலைகள் உப்பிலுள்ள பொருட்களைக் கண்டுகொள்ள உதவுகின்றன.

கரிக்கட்டையில்லாமல், இரும்பு, பித்தளை, செம்புக் கட்டைகளைப் பயன்படுத்தினால், அதனதன் சுடர்மாலை கிடைக்கும். இந் நிறமாலையிலிருந்து தனிமங்களின் அலைநீளங்களைக் கண்டறியலாம். கூட்டுப் பொருளாக இருந்தால், அந்த உண்மையையும், தனிமங்கள் யாவை எனவும் அறியலாம்.

276 **டாப்ளர் விளைவு** (Doppler effect)

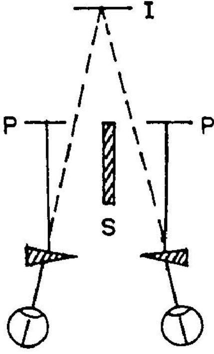
ஒளி மூலத்திற்கும் ஆய்வாளருக்குமிடையே ஓர் ஒப்பியக்கம் உள்ளபோது, ஒளி மூலத்திலிருந்து வரும் ஒளி அலைகளின் அலைநீளம் மாறுபடுவதாகத் தோன்றும். இவ்விளைவு டாப்ளர் விளைவு எனப்படும். ஒளி மூலமோ அல்லது ஆய்வாளரோ மற்றதை நோக்கி நகரும்போதும், அல்லது இரண்டுமே ஒருவரை நோக்கி ஒருவர் நகரும்போதும், ஒளி அலைகளின் அலைநீளம் குறைவதாகத் தோன்றும். அதேபோல் ஒளி மூலமும் ஆய்வாளரும் ஒருவரைவிட்டு ஒருவர் விலகிச் செல்லும்போது, அலைநீளம் அதிகரிப்பதாகத் தோன்றும். பெரும்பாலான விண்மீன்களிலிருந்து வரும் ஒளி அலைகளில் அலைநீளங்கள் அதிகரிப்பதாகக் காணப்படுகிறது (சிவப்பு இடப்பெயர்ச்சி). இது அவை நம்மை விட்டு விலகிச் செல்வதைக் காட்டுகிறது. வாயு மூலக்கூறுகளில் இயக்கத்தில் உள்ள பல்வேறு அணுக்கள் உமிழும் ஒளியின் அதிர்வு எண் மாறுபடுவதாகத் தோன்றுவது டாப்ளர் விளைவின் காரணமாகும்.

277 **டிண்டால் விளைவு** (Tyndall effect)

ஒளியின் அலைநீளத்தைவிடக் குறைந்த தடிப்புடைய துகள்கள் வெள்ளை ஒளியைச் சிதறடிக்கும்போது சிதறடிக்கப்பட்ட ஒளி நீலநிறத்தைப் பெறுகின்றது. சிதறடிக்கும் துகளின் அளவு அதிகரிக்கும்போது சிவப்பு நிறக் கதிர்களும் சிதறடிக்கப்படுகின்றன. சிதறலின்போது தோன்றும் நிறம் சிதறடிக்கும் பொருளின் அளவைச் சார்ந்திருப்பதை டிண்டால் முதலில் சோதனை மூலம் ஆராய்ந்ததால் இந்நிகழ்வு டிண்டால் விளைவு எனப்படுகிறது. ஒரு கண்ணாடிப் பாத்திரத்தில் உள்ள சோடியம் தயோசல்பேட்டு கரைசல் வழியே செல்லும் வெள்ளொளி திரையில் குவிக்கப்படும்போது வட்டவடிவப் பிம்பத்தினை ஏற்படுத்துகிறது. நீர்த்த கந்தக அமிலம் பாத்திரத்தில் சேர்க்கப்படும்போது திரவம் நீல நிறத்தைப் பெறுகின்றது. திரையில் உள்ள வெள்ளைப் பிம்பம் முதலில் மஞ்சளாகவும், பின்னர் சிவப்பாகவும் மாறி இறுதியில் மறைந்து விடுகின்றது. சோதனையின்போது வெளிப்படும் கந்தகத்துகள்கள் துவக்கத்தில் சிறியதாக உள்ளபோது ஊதா, நீல நிறங்கள் சிதறடிக்கப்படுவதால் திரவம் நீலநிறத்தைப் பெறுகின்றது. துகள்களின் அளவு பெரிதாகும்போது மஞ்சள், சிவப்பு நிறங்கள் சிதறடிக்கப்படுவதால் பிம்பத்தின் நிறம் மாறுகின்றது. சிதறலின்போது விழும் ஒளியில் உள்ள அலைநீளங்கள் (நிறங்கள்) பிரிகின்றன. இந்நிகழ்ச்சி ஒரியல் சிதறலாகும்.

278 **திட்பக்காட்சிக் கருவி** (Stereoscope)

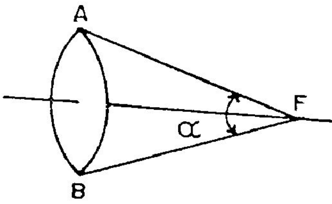
ஒரு படத்தினை முப்பரிமாணத்தில் பார்க்கப் பயன்படும் திட்பக்காட்சிக் கருவி சார்லஸ் வீஸ்டனால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. பொருளை ஒரு கண்ணால் பார்க்கும் போது பொருள் தட்டையாக (flat) தெரியும். எனவே ஒற்றைக்கண்ணுடைய மனிதனுக்கு ஒரு

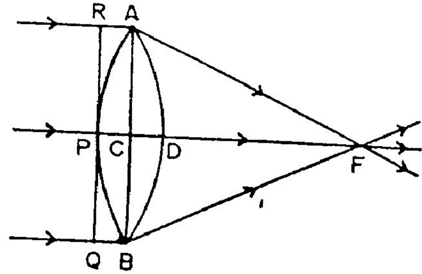


பொருளின் தொலைவையும், ஆழத்தையும் (depth) அளவிடுவதில் சிரமம் ஏற்படுகின்றது. இரு கண்களால் பொருளைப் பார்க்கும்போதுதான் பொருளின் தொலைவையும், முப்பரிமாண அளவையும் கணக்கிட முடியும். பொருளை இருகண்களால் பார்க்கும்போது மாறுபட்ட கோணங்களிலிருந்து இரு தோற்றங்கள் விழித்திரையில் குவிக்கப்படுவதால் பொருளின் முப்பரிமாணத்தை உணர முடிகிறது. இந்த இரு கண் நோக்கப் பார்வையை (binocular vision) திட்பக்காட்சிக் கருவி தருகின்றது. கண்களின் இடைத் தொலைவிற்குச் சமமான தொலைவில் உச்சிகள் உட்பக்கமாக அமைந்த முப்பட்டகங்கள் உள்ளன. இரு புகைப்படக் கருவிகளால் எடுக்கப்பட்ட ஒரு பொருளின் சற்று மாறுபட்ட ஒளிப்படங்கள் படத்தில் P-P-ல் வைக்கப்படுகின்றன. திரை S இரு படங்களையும் பிரிக்கின்றது. ஒளிப்படங்களின் இரு மாயப் பிம்பங்கள் புள்ளி I-ல் ஒன்றாகப் பொருத்தும்படி இக்கருவி அமைக்கப்பட்டுள்ளது. எனவே கருவியின் வழியாகப் பார்க்கும் போது முப்பரிமாணமாகப்படங்கள் தெரிகின்றன.

279 துளை (Aperture)

இது தொலைநோக்கி போன்ற ஒளியியல் கருவிகளில் உள்ள பொருளருகு வில்லையின் விட்டம். பொதுவாக அங்குலத்தில் குறிக்கப்படும். சில நேரங்களில், முதன்மைக் குவியத்திலிருந்து (F). பொருளருகு வில்லை விட்டத்தின் இரு எதிர் முனைகளுக்கு (A, B) வரையப்படும் கோடுகளின் இடையேயுள்ள கோணத்தால் (α) குறிக்கப்படுகிறது. ஒரு குவிவில்லையின் குவிய தூரத்தை, அவ்வில்லையின் துளை மற்றும் தடிமன ஆகியவற்றைக் கொண்டு கணக்கிடலாம். இவைகளை இணைக்கும் ஒரு தொடர்பினை வருவிக்கலாம்.





AC = பாதி துளை = y; CF = குவிய தூரம் = f; PD = தடிமன் = t;
μ = வில்லையின் ஒளி விலகல் எண்.

இவற்றின் தொடர்பு $f = \frac{y^2}{2(\mu-1)t}$.

துளைத் தகவு (Aperture ratio) :

ஒரு வில்லையின் செயலுறு விட்டத்திற்கும் அதன் குவியத் தூரத்திற்கும் உள்ள தகவு.

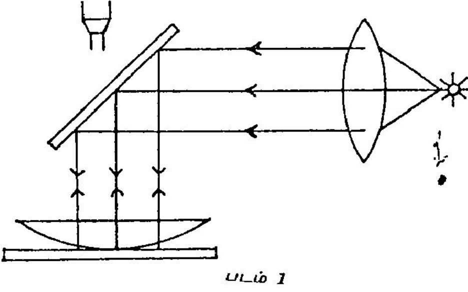
துளை அடைப்பான் (Aperture stop)

இது ஒளியியல் அமைபபுகளில் இருக்கும் திறப்பு. ஓர் ஒளி அமைப்பில் பொருளின் கொடுக்கபபட்ட ஒரு புள்ளியிலிருந்து பிம்பத்தின் ஒப்புமைப் புள்ளிக்குப் பயணம செய்யும் ஒளிக் கதிர்க் கற்றையின் பருமனை (size) இது தீர்மானிக்கும்.

துளைப் பிறழ்ச்சி (Aperture aberration)

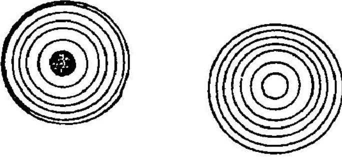
அச்சிலிருந்து வெவ்வேறு தூரங்களில் உள்ள ஒளிக்கதிர்கள் ஒரே புள்ளியில் குவிவதில்லை. இதனால் ஏற்படும் பிழைகளைத் துளைப் பிறழ்ச்சி என்பர். பல துளைகளை ஒழுங்குடன் அமைத்து விளிம்பு விளைவுப் பாங்கினை உண்டாக்கலாம். எடுத்துக்காட்டாக, வட்டத் துளை, செவ்வகத் துளை ஆகியவற்றைக் கூறலாம்.

280 **நியூட்டன் வளையங்கள்** (Newton's rings)



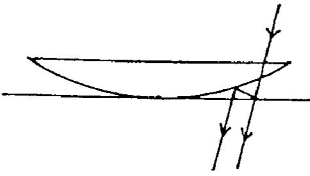
படம் 1

அதிக வளைவு ஆரமுள்ள ஒரு குவி வில்லையை ஓர் எதிரொளிப்புச் சமதளப் பரப்பின் மீது வைத்தால், வில்லையில் மையம் சமதளப் பரப்பைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும் (படம்1). இவ்வமைப்பில் செங்குத்தாக ஒளிக் கதிர்களை விழுமாறு செய்தால் வில்லை மற்றும் சமதளப் பரப்பிற்கிடைப்பட்ட வளிமப் படலத்தின் மேல் மற்றும் கீழ் வரம்புகளிலிருந்து ஒரு பகுதி எதிரொளிப்புக்கு ஆளாகி, அவ்விரு கதிர்களும் மேல் நோக்கி ஒரே திசையில் சென்று குறுக்கீட்டு (interference) விளைவை ஏற்படுத்துகின்றன. வளிமப் படலத்தின் தடிப்பு தொடுபுள்ளியிலிருந்து விளிம்புவரை சீராக அதிகரிப்பதால், இக் குறுக்கீட்டு விளைவின் காரணமாக, தொடுபுள்ளியைச் சுற்றி நிறவளையங்கள் அடுத்தடுத்த இருள் மற்றும் ஒளி வளையங்கள் ஏற்படுகின்றன. இதையே நியூட்டன் வளையங்கள் என்கின்றோம். எதிரொளிப்புக்கு ஆளாகாமல் ஊடுறுவிச் செல்லும் கதிர்களும் நியூட்டன் வளையங்களை ஏற்படுத்துகின்றன (படம் 3). எதிரொளிப்பில் மையப்பகுதி கருமையாகவும், ஒளி ஊடுறுவலில் வெண்மையாகவும் இருக்கும். (படம் 2).



படம் 2

ஒளி எதிரொளிப்பில் n ஆவது வளையத்தின் ஆரம், பயன்படுத்தும வில்லையின் வளைவு ஆரம் மற்றும் ஒளியின் அலைநீளம் இவற்றைப் பொருத்திருக்கும். இதை $r_n = \sqrt{n\lambda R}$ என்று குறிப்பிடுவர். இதில் r_n , n-ஆவது வளையத்தின் ஆரம்; R- வில்லையின் வளைவு ஆரம், λ ஒளியின் அலைநீளம். இதைக் கொண்டு வில்லையின் வளைவு ஆரத்தையோ அல்லது ஒற்றை ஒளி மூலத்தின் அலைநீளத்தையோ கண்டறியலாம். ஒற்றை நிற ஒளிக்குப் பதிலாக வெள்ளை ஒளியைப் பயன்படுத்தினால் நியூட்டன் வளையங்கள் பல நிறங்களுடனும், வெவ்வேறு ஆரங்களுடனும் காணப்படும்.

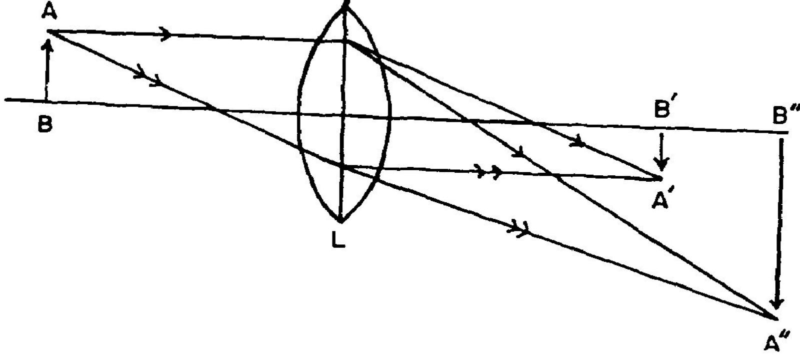


படம் 3

281 **நிறப்பிறழ்ச்சி** (Chromatic aberration)

ஒளியியலில் கோளக ஆடிகள், வில்லைகள் போன்றவை பொருட்களின் பிம்பங்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. பொருட்களின் வெவ்வேறு நிலைகள் (positions) மற்றும் அவற்றோடு தொடர்புடைய பிம்பங்களின் நிலைகள் ஆகியவற்றிற்கான எளிய சமன்பாடுகளைக் கருதுகோள் (theory) வாயிலாக உருவாக்கலாம். ஆனால் நடைமுறையில் கோளக ஆடிகளும் வில்லைகளும் உருவாக்கும் பிம்பங்கள் கருதுகோள் வாயிலாகக் கூறப்படும் பிம்பங்களிலிருந்து மாறுபடுகின்றன. ஏற்கெனவே கருதுகோள் வாயிலாக

எளிய சமன்பாடுகளிலிருந்து பெறப்பட்ட பிம்பங்களுக்கும் நடைமுறையில் உருவாகும் பிம்பங்களுக்கும் இடையில் நிலை, உருவம் (shape), அளவு (size) ஆகியவற்றில் தோன்றும் மாறுபாட்டிற்கு 'பிறழ்ச்சி' (aberration) என்று பெயர். ஒரு வில்லையில் வெள்ளொளி படுவதால் ஏற்படும் நிறப் பிறழ்ச்சியைக் கீழ்க்கண்டவாறு விளக்கலாம். படத்தில் AB



என்பது வெள்ளொளியால் ஒளியூட்டப்பட்ட பொருளைக் குறிக்கிறது. வில்லை L-ஐ பல சிறிய முப்பட்டகங்கள் இணைந்த ஓர் அமைப்பாகக் கருதலாம். எனவே, வெள்ளொளி, வில்லையால் ஊதா, இண்டிகோ, நீலம், பச்சை, மஞ்சள், ஆரஞ்சு, சிவப்பு ஆகிய நிறங்களாகப் பிரிக்கப்படுகிறது. இதனால் AB எனும் ஒரே பொருளுக்கு ஏழு நிறங்களில் பிம்பங்கள் உருவாகின்றன. படத்தில் A'B' என்பது ஊதா நிற பிம்பத்தையும், A"B" சிவப்பு நிற பிமபத்தையும் குறிக்கின்றன. எனவே ஒரு வில்லை வெள்ளொளியால் ஒளியூட்டப்பட்ட ஒரே பொருளின் பிம்பத்தை, நீளமாகவும், பல்வேறு நிறங்களிலும் பல பிம்பங்களாக உருவாக்கும் இந்தப் பிறழ்ச்சியே 'வில்லையின் நிறப்பிறழ்ச்சி' என அழைக்கப்படுகிறது. ஒரு குவிவில்லை மற்றும் குழிவில்லை ஆகியவற்றை முறையாக இணைப்பதன் மூலம் நிறப்பிறழ்ச்சியைக் குறைக்கலாம்.

282 நிறப்பிறழ்ச்சி நீங்கிய வில்லைகள் (Achromatic lenses)

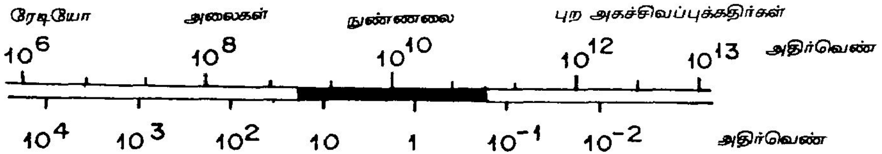
இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட வில்லைகளை ஒரே அச்சில் இணையாக அமைத்து, வெவவேறு அலைநீளங்களைக் கொண்ட கதிர்களை ஒரே புள்ளியில் குவியும்படி செய்யலாம். இதனால் பெரும்பாலான நிறப்பிறழ்ச்சியை நீக்கலாம். இந்தக் கூட்டு விலலைகள், நிறப்பிறழ்ச்சி நீங்கிய வில்லைகளாகும். வெவ்வேறு பருப்பொருட்களால் ஆன (கிரவுன் மற்றும் பிளின்ட் கண்ணாடிகள்) இரு வில்லைகளைக் கொண்டு நிறப்பிறழ்ச்சி நீங்கிய அமைப்பை உருவாக்கலாம். இரு வில்லைகள் ஒன்றையொன்று ஒரே அச்சில் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும் பொழுது, அது நிறப்பிறழ்ச்சி நீங்கிய அமைப்பாக (இணைப்பாக) இருப்பதற்குரிய நிபந்தனை, $(\omega_1/f_1) + (\omega_2/f_2) = 0$ ஆகும். ω_1, ω_2 என்பவை வில்லைகளின் பிரிதிறன்களாகும (dispersive powers); f_1, f_2 என்பவை வில்லைகளின் குவியத் தூரங்களாகும் (focal lengths). மேலும், இரு வில்லைகளை ஒன்றையொன்று தொடும்படி வைத்தால், முதல் வில்லையின் (வழக்கமாக கிரவுன் கண்ணாடியால் ஆன குவி வில்லை) இரண்டாவது பரப்பு வளைவு ஆரம், இரண்டாவது வில்லையின் (வழக்கமாக ஃபிளின்ட் கண்ணாடியால் ஆன குழி வில்லை) முதல்பரப்பு வளைவு ஆரத்திற்குச் சமமாக இருக்கும். இணைப்பு இருவில்லைகளுக்கு மேற்பட்டிருந்தால், அது நிறப்பிறழ்ச்சி நீங்கிய இணைப்பாக இருப்பதற்குரிய நிபந்தனை, $\sum \frac{\omega_i}{f_i} = 0$ ஆகும். ω_i, f_i என்பவை, வெவ்வேறு வில்லைகளின் முறையே பிரிதிறன், குவியத் தூரம் ஆகும். ஒரே பருப்பொருளால் ஆன இரு வில்லைகள் தனித்தனியே ஒரே அச்சில் d தூரம் பிரித்து வைக்கப்பட்டிருந்தால், அது நிறப்பிறழ்ச்சி நீங்கிய இணைப்பாக / தொகுப்பாக இருப்பதற்குரிய நிபந்தனை, $d = (f_1 + f_2)/2$ ஆகும். அதாவது, இரு வில்லைகளுக்கிடையேயுள்ள தூரம் அவ்வில்லைகளின் சராசரி அலைநீளத்திற்குச்

சமமாக இருத்தல் வேண்டும். இந்தக் கோட்பாடு அய்கனின் கண்ணருகுக் கருவியில் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

283 நுண்ணலை நிறமாலை (Microwave spectrum)

நுண்ணலை என்பது அலைநீளம் அதிகமுள்ள அலையாகும். சாதாரணமாக நாம் ஒளி என்று குறிப்பிடும் நிறங்களும் மின்காந்த அலைத்தொகுப்பின் ஒரு பகுதிதான். இவற்றின் அலைநீளம் நுண்ணலைகளைவிடப் பத்தாயிரம் மடங்கு குறைந்தது. நுண்ணலைகளின் அலைநீளம் ஏறக்குறைய மில்லி மீட்டர் முதல் சென்டி மீட்டர் வரை இருக்கும்.

நுண்ணலைகளே ரேடார் செய்திப் போக்குவரத்து, நுண்ணலை அடுப்பு போன்றவற்றில் பயன்படுகின்றன. மின்காந்த அலைத் தொகுப்பில் இவை ரேடியோ



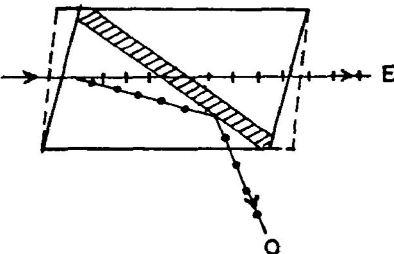
அலைகளுக்கும, புற அகச்சிவப்புக் கதிர்களுக்கும் இடையில் உள்ளன. ஒளி அலைகளை ஒளித் துகள்களாகவும் (photons) கருதுவர். நுண்ணலை நெடுக்கையில் ஒளித்துகள் எடுத்துச் செல்லும் ஆற்றல் 0.005 எலக்ட்ரான் வோல்ட் ஆகும். ஒரு மூலக் கூறில் உள்ள அணுக்களிடை சுழலியக்கங்கள் காரணமாக ஏற்படும் ஆற்றல் நிலைகளின் ஆற்றல் இந்நெடுக்கையில் அமைந்திருப்பதால், ஒவ்வொரு மூலக்கூறும் தனிச்சிறப்பு நுண்ணலை நிறமாலையைப் பெற்றிருக்கின்றது. சிக்கலான (complex) மூலக்கூறுகளை ஆராய நுண்ணலை நிறமாலை மிகவும் பயனுள்ளதாக இருக்கின்றது. இதனால் நுண்ணலை நிறமாலையை சுழலியகக நிறமாலை (rotational spectrum) என்றும் கூறுவர். இந் நிறமாலை வரிகள் மிக நெருக்கமாக இருக்கும். ஒரு மூலக்கூறு தன் சுழலியக்கம் காரணமாகப் பெற்றிருக்கக் கூடிய ஆற்றலை

$$E_R = \frac{J(J+1)h^2}{8\Pi^2 I}$$

என்ற தொடர்பால் குறிப்பிடுவார்கள். இதில் J = 0, 1, 2, 3, ... என்றவாறு மதிப்புக்களை உடைய சுழலியக்கக் கவள (quantum) எண்ணாகும். h-பிளாங் மாறிலி, I-மூலக்கூறில் சுழலியக்கத்தில் ஈடுபட்டுள்ள அணுக்களின் நிலைமத் திருபபத்திறனாகும்.

284 நைகல் பட்டகம் (Nicol prism)

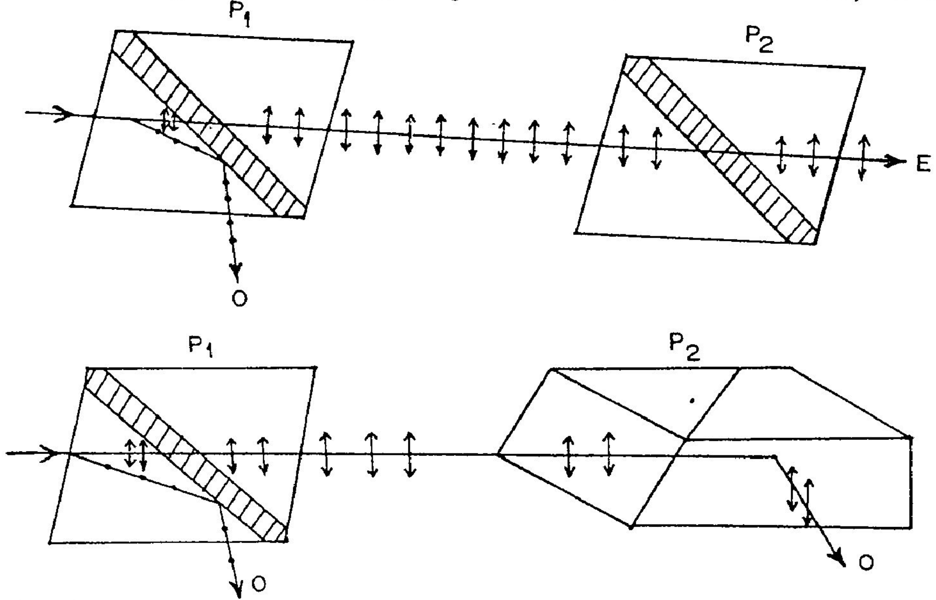
கால்சைட் படிகத்தால் ஒரு குறிப்பிட்ட வடிவமைப்புடன் கட்டமைக்கப்பட்ட இது ஓர் ஒளியியல் அமைப்பாகும். இது தளவாக்க முற்ற ஒளியை (plane polarised light) பெறப் பயன்படுகிறது. இதைக் கண்டுபிடித்த அறிஞர் வில்லியம் நைகல் (1768 - 1851) என்பாரின் பெயரிலேயே அழைக்கப் படுகின்றது. இப்படிகத்தின் வழிச் செல்லும் ஒளிக்கதிர், இயல்பு மற்றும் இயல்பிலா ஒளிக்கற்றைகளாகப் பிரிந்து, அதில் இயல்பு ஒளிக்கற்றை கனடா பால்சம் (Canada balsam) என்ற ஒற்றிணைப்புப் பசையால் விலக்க முற்று தனியாகப் பிரிக்கப்



படுகின்றது. இப்படி பிரிக்கப்படும் இயல்பு (O) மற்றும் இயல்பிலா (E) ஒளிக்கற்றைகள் ஒருதள தளவாக்கமுற்றவைகளாக இருக்கும்.

285 **பகுப்பாய்வுக் கருவி / பகுப்பி** (Analyser)

இது தளமுனைவாக்க ஒளியை மட்டும் செலுத்தும் ஒரு கருவி. அதாவது, தளமுனைவாக்க ஒளியை உணர்த்தும் ஓர் அமைப்பு. போலரிஸ்கோப்பு போன்ற



கருவிகளின் கண்ணருகுக் கருவியில் இது பயன்படுகிறது. நைக்கல் பட்டகம் தளமுனைவாக்க ஒளியை உண்டாக்கி, பகுப்பாய்வு செய்யும் ஓர் ஒளியியல் சாதனம. P_1, P_2 என்ற இரு நைக்கல் பட்டகங்களை சேர்ந்தாற்போல் ஒன்றை அடுத்து மற்றொன்றை வைததால் அவற்றுள் ஒன்று அலைமுனைவாக்கியாகவும், மற்றொன்று பகுப்பியாகவும் செயறபடும். இணையான இரு நைக்கல் பட்டகங்களின் நிலையைப் படம்1 காட்டுகிறது. இயல்மாறிய கதிர் மட்டும் (E) இரு பட்டகங்களின் வழியே செல்வதைக் காணலாம்.

இரண்டாவது பட்டகமாகிய P_2 -வை மெல்ல (படிப்படியாக) சுழலச் செய்தால், இயல்மாறிய கதிரின் செறிவு குறைந்து கொணடே வரும். இரு பட்டகங்களும் ஒன்றுக் கொன்று செங்குத்தாக இருககும்பொழுது (படம்2) , P_2-விலிருந்து எந்த ஒளியும் வெளிவரா. ஆகவே, P_1-லிருந்து வெளிவரும் ஒளியானது (O) தளமுனைவாக்க ஒளியாகும். தளமுனைவாக்க இயல்மாறிய ஒளியானது P_2 பட்டகத்தில் இந்நிலையில் நுழையும் பொழுது, அது சாதாரண ஒளியாக இயங்கி, கனடா பால்சம் அடுக்கினால் முழு அக எதிரொளிப்பு ஏற்படுவதால் P_2-விலிருந்து எந்த ஒளியும் வெளிவருவதில்லை. ஆகையால் பட்டகம் P_1-தள முனைவாக்க ஒளியை உண்டாக்குகிறது. பட்டகம் P_2 அந்த ஒளியை உணர்த்துகிறது. இதனால் P_1, P_2 பட்டகங்கள் முறையே அலைமுனைவாக்கி, பகுப்பி எனப்படுகின்றன. P_1, P_2 பட்டகங்களின் கூட்டமைப்பு போலரிஸ்கோப்பு எனப்படும். பொருடகளில தளமுனைவாக்க ஒளி ஏற்படுத்தும் விளைவுகளை அறிய இக்கருவி உதவுகிறது.

286 **பட்டை நிறமாலை** (Band spectra)

ஒளி உமிழும் வேதியியற் பொருட்களின் மூலக்கூறுகளிலிருந்து பட்டை நிறமாலை தோன்றுகிறது. இவ்வகை நிறமாலையில் அதிக எண்ணிக்கையுடைய

பட்டைகள் தோன்றும். இப்பட்டைகளின் ஒரு பகுதி துல்லியமாகவும் அதைத் தொடர்ந்து படிப்படியாக மங்குவதாகவும் காணப்படும். இவ்வகை நிறமாலை தொடர் நிறமாலையாகாது. அதிகப் பிரிதிறன் உடைய ஒரு நிறமாலை மானியால், இவ்வகை நிறமாலையை ஆராய்ந்தால், ஒவ்வொரு பட்டையிலும் பல வரிகள் இருப்பது காணப்படும். இவ்வரிகள் துல்லியப் பகுதியில் நெருக்கமாக அதிக எண்ணிக்கையுடனும், பொலிவு குறைந்த பகுதியில் நெருக்கம் குறைந்து, குறைந்த எண்ணிக்கையுடனும் காணப்படும். காட்டாக, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு அல்லது அம்மோனியா உள்ள ஒரு மின்னிறக்கக் குழாய் பட்டை நிறமாலைகளை உமிழ்கிறது. ஒவ்வொரு மூலக்கூறும் பட்டைகளின் அமைப்பில், அவற்றின் சொந்தத் தன்மையைப் பெற்றிருக்கின்றன.

பட்டை நிறமாலையின் தோற்றத்தைக் குவாண்டம் கொள்கைப்படி விளக்கலாம். ஒரு மூலக்கூறின் அணுக்களின் எலக்ட்ரான்கள், வெளிச் சுற்றிலிருந்து உட்சுற்றுக்குத் தாவுவதாலும், மூலக்கூறின் சுழற்சியினாலும், மூலக்கூறின் சுழற்சி அதிர்வினால் உமிழப்படும் ஆற்றலாலும், நிறமாலையில் கோடுகள் உண்டாகின்றன. இந்த நிகழ்வுகள் ஒரே சமயத்தில் நடப்பதால், அதிகமான கோடுகள் சேய்மை மற்றும் அண்மை அகச் சிவப்புப் பகுதிகளில் தோன்றுகின்றன. சி.வி.இராமன் இதுபற்றி விரிவாக ஆராய்ந்துள்ளார். இந்த நிறமாலையின் உதவியால் மூலக்கூறின் அமைப்பை அறியலாம். மேலும் விசை மாறிலி, அலை அதிர்வெண், அணுக்களின் இடை தூரம், திரிபு (distortion) மாறிலி போன்ற மூலக்கூறின் மாறிலிகளையும் கணக்கிடலாம்.

287 படிகக் கீற்றணி (Crystal grating)

X-கதிர்கள் கண்ணுறு ஒளியைவிட (visiblelight) மிகக் குறைந்த அலைநீளங்களைக் கொண்ட (ஏறத்தாழ 1Å) மின்காந்த அலைகளாகும். பொதுவாக அலைகள் விளிம்புவிளைவை ஏற்படுத்த வேண்டுமாயின் அலைகளின் அலைநீளங்கள், விளிம்புவிளைவை ஏற்படுத்தும் பொருளின் பரிமாணத்துடன் (dimension) ஒப்பிடும் வகையில் அமைதல் வேண்டும்.

கண்ணுறு ஒளியை விளிம்பு விளைவுக்கு உட்படுத்தும் சாதாரணக் கீற்றணியின் இரு அடுத்தடுத்த வரிகளுக்கிடையே உள்ள தொலைவு, X-கதிர்களின் அலைநீளங்களை விட மிகவும் அதிகம் ஆதலின், அக் கீற்றணி கொண்டு X-கதிர்களை விளிம்பு விளைவுக்கு உட்படுத்த இயலாது. தகுந்த கீற்றணிகளை செயற்கையாக உருவாக்கவும் இயலாது. ஆனால் 1913 ஆம் ஆண்டு வான் லாவே என்பவர் X-கதிர்களைப் படிகங்களைக் கொண்டு விளிம்புவிளைவுக்கு உட்படுத்தலாம் என்பதைக் கண்டறிந்தார். ஒரு படிகத்தில் அணுக்கள் (அல்லது அயனிகள் அல்லது மூலக்கூறுகள்) இடத்தர மற்றும் ஒழுங்கான முறையில் (regular and periodic) அமைந்துள்ளன. இவை படிகங்களில் அமைந்துள்ள அணிக்கோவைத் தளங்கள் (lattice planes) எனப்படுகின்றன. இந்தத் தளங்களுக்கிடையே உள்ள இடைவெளி X-கதிர்களின் அலைநீளங்களுடன் ஒப்பிடும் வகையில் மிக குறைவாக உள்ளது. X-கதிர்கள் படிகத்தில் படும்போது வெவ்வேறு இணைத் தளங்களால் எதிரொளிக்கப்பட்டு ஒன்றையொன்று குறுக்கிட்டு, ஆக்க விளைவையும் அழித்தல் விளைவையும் ஏற்படுத்துகின்றன. இதனால் X-கதிர்களின் விளிம்புவிளைவுப் படிவம் (diffraction pattern) உண்டாகிறது. எனவே படிகங்களை இயற்கையிலேயே அமைந்த X-கதிர்களுக்குரிய 'முப்பரிமாணக் கீற்றணி' எனக் கூறலாம்.

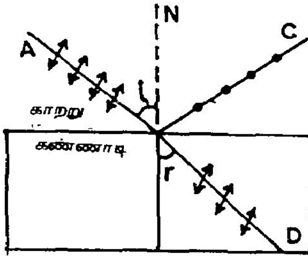
288 பயட் விதிகள் (Biot's laws)

சில பொருட்களின் வழியாக சமதள தள ஒளி செல்லும்போது தள விளைவுத்தளம் சுழற்றப்படுகிறது. இதற்குச் சுழல்தள விளைவு என்று பெயர். ஆர்கோ இவ்விளைவைக் கண்டுபிடித்தார். பயாட் 1815-ல் இத்தகைய சுழற்சி பற்றியும், பல விதமான அலை நீளங்கள் உள்ள சமதள தள ஒளி வினை கொண்ட படிகங்கள் பற்றியும்

ஆய்ந்து பின்வரும் முடிவுகளைப் பெற்றார்: 1. ஒரு குறிப்பிட்ட நிற ஒளிக்குப் படிகத்தில் ஏற்படும் தளவிளைவுத் தள சுழற்சி, அந்தப் படிகத்தின் கனத்திற்கு ஏற்பவிருக்கும்; 2. இரு படிகங்களில் ஏற்படும் சுழற்சி, ஒவ்வொரு படிகத்திலும், தனித்தனியாக ஏற்படும் சுழற்சியின் கூடுதலாகும; 3. தளவிளைவுத் தளச் சுழற்சி, படிகத்தின் வெப்பநிலைக்கு ஏற்ப இருக்கும்; 4. ஒரு குறிப்பிட்ட படுகத்திலேற்படும் சுழற்சி ஒளி அலைநீளத்தின் இரு மடியின் எதிர் தகவிலிருக்கும்; 5. ஒளியியல் வினை கொண்ட பொருளையும் ஒளியியல் வினையற்ற பொருளையும் கொண்ட கலப்பில் ஏற்படும் சுழற்சி, ஒளியியல் வினை கொண்ட பொருளின் செறிவிற்கு ஏற்ப இருக்கும்; 6. வலஞ்சுழி, இடஞ்சுழி மூலக்கூறுகளைச் சம அளவில் கொண்டுள்ள கரைசல் ஒளியியல் வினை கொண்டதாக இருக்காது. எனவே ஒரு குறிப்பிட்ட அலை நீளம், வெப்ப நிலை ஆகியவற்றில் சுழற்சிக் கோணம் $\theta = \left(\frac{Sl}{10}\right)C$ ஆகும். இதில் S = தன் திருப்புத் திறன், l = பொருளின் தடிமன், C= பொருளின் செறிவு. இந்த விதிகளைக் கொண்டு தன் திருப்புத் திறன் வரையறுக்கப்படுகிறது

289 புரூஸ்டர் விதி (Brewster's law)

ஒளிக்கதிர், ஓர் ஊடகத்தில் ஒரு குறிப்பிட்ட படுகோணத்துடன் பட்டு எதிரொளிக்கப்படும்போது முழுத் தளவிளைவுற்ற ஒளியாக வெளிவருமேயானால், அப்படுகோணத்திற்குத் தளவிளைவுக் கோணம் (angle of polarisation) எனப் பெயர். 1811-ஆம் ஆண்டு புரூஸ்டர், ஒளி பல்வேறு ஊடகங்களில் எதிரொளிக்கப்படும் போது ஏறபடும் தளவிளைவைப் பல சோதனைகள் மூலம் ஆய்ந்தறிந்தார். புரூஸ்டர், "தள விளைவுக் கோணத்தின் தொடுநிலை மதிப்பு (tangent of angle of polarisation) ஒளிக்கதிரை எதிரொளிப்புக்கு உள்ளாக்கும் ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண்ணின் மதிப்பிற்குச் சமம்" என்பதை நிறுவினார். புரூஸ்டர் விதியை, கணிதவியலாக $\mu = \tan i$ எனக் குறிப்பிடலாம். இங்கு μ என்பது ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண்ணையும், i தளவிளைவுக்கு உள்ளாகும் ஒளிக்கதிரின் படுகோணத்தையும் குறிக்கின்றன.



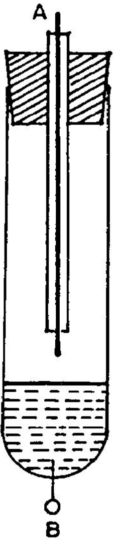
எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு கிரெளன் கண்ணாடியின் ஒளி விலகல் எண் 1.52 எனில் அதற்குரிய தள விளைவுக் கோணம் 57° ஆகும். வெவ்வேறு அலைநீளங்களைக் கொண்ட ஒளிக்கதிர்களின் ஒளி விலகல் எண்கள் வெவ்வேறாக இருப்பதால், அவற்றிற்குரிய தளவிளைவுக் கோணங்களும் வெவ்வேறாக உள்ளன. புரூஸ்டர் இவ்விதியைக் கொண்டு 'ஒளிக்கதிர் ஓர் ஊடகத்தில் தளவிளைவுக் கோணத்தில் படும்பொழுது, எதிரொளிப்புக் கதிரும், ஊடகத்தினுள் செல்லும் ஒளி விலகுக் கதிரும் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாக இருக்கும்' என்றும் நிரூபித்தார்.

290 புன்சன் – கிர்ச்சாஃப் தத்துவம் (Principle of Bunsen and Kirchoff)

புன்சனும் கிர்ச்சாஃப்பும் நிறமாலை ஆய்விற்குரிய அடிப்படையை அமைத்தவர்கள். அவர்கள் ஒரு பொருளின் நிறமாலை என்பது அப்பொருளில் இருக்கும் கூறுகளின் (components) தனித்தனி நிறமாலைகளின் கூடுதல் ஆகும் எனக் கூறினர். மேலும் அவர்கள் ஒவ்வொரு தனிமமும் தனக்கே உரிய தனித்தன்மை கொண்ட நிறமாலை வரிகளையோ அல்லது பட்டைகளையோ வெளிவிடுகிறது எனவும், ஒரு தனிமத்தின் நிறமாலையை மற்றொரு தனிமம் வெளியிட இயலாது எனவும் கூறினர். இதன் அடிப்படையில் பொருட்களின் நிறமாலைகளைப் பற்றி ஆய்வதன் மூலம், ஏற்கெனவே அறிந்த நிறமாலைகளோடு ஒப்பிட்டு, தெரியாத தனிமங்களைக் கண்டுணரலாம். இத்தகைய நிறமாலை ஆய்வைப் பயன்படுத்தி புன்சனும் கிர்ச்சாஃப்பும்

சீசியம், ருபீடியம் தனிமங்களைப் புதிதாகக் கண்டுபிடித்தனர். 1855–ஆம் ஆண்டு புன்சனும் கிர்ச்சாஃப்பும் திருப்புத் தத்துவம் (principle of reversal) எனும் நிறமாலையியல் தத்துவத்தை வெளியிட்டனர். இதன்படி, ஒரு பொருள் கொடுக்கப்பட்ட வெப்பநிலையில் குறிப்பிட்ட அலைநீளத்தை உமிழுமானால், குறைந்த வெப்பநிலையில் அதே அலைநீளத்தை உட்கவரும். எடுத்துக்காட்டாக, சோடிய ஒளிப்பிழம்பு 5890Å, 5896Å ஆகிய அலைநீளங்களைக் கொண்ட இரு மஞ்சள் வரிகளை உமிழ்கிறது. வெள்ளொளி சோடிய ஆவியில் செலுத்தப்படுமேயானால், குறைந்த வெப்பநிலையில் உள்ள சோடிய ஆவி, வெள்ளொளியிலுள்ள பல்வேறு அலைநீளங்களில் தன்னுடைய அலைநீளங்களான 5890Å, 5896 Å ஆகியவற்றை உட்கவரும். இதற்கு உட்கவர் நிறமாலை (absorption spectrum) எனப் பெயர்.

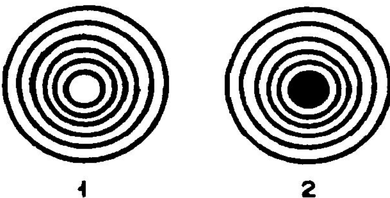
291 பொறி நிறமாலை (Spark spectra)



நிறமாலையை ஆராய்வதற்குரிய ஒளி மூலங்களில் ஒன்று மின்பொறி (electric spark) ஆகும். இரு உலோகத் தண்டுகளைத் தூண்டு சுருளின் முனைகளுக்கிடையே இணைத்து, உலோகமுனைகள் ஒன்றையொன்று நெருங்குமாறு கொண்டுவந்தால், அவைகளுக்கிடையே மின்பொறிகள் உருவாகும். கரைசல் ஒன்றின் பொறி நிற மாலையை ஆராய படத்தில் உள்ள அமைப்பு பயன்படுகிறது. அடிப்பாகத்தில் பிளாட்டினக் கம்பி (B)–யுடைய சோதனைக் குழாயில் கரைசல் உள்ளது. சோதனைக்குழாய் வாயை மூடியிருக்கும் ஒற்றைத் துளையுடைய தக்கையின் வழியே கண்ணாடிக் குழாயின் உள்ளே அமைக்கப்பட்ட பிளாட்டின மின்வாய் A பொருத்தப்பட்டுள்ளது. திரவத்திற்குச் சற்று மேலாக அமைந்த மின்வாய் A, திரவத்தினுள் இருக்கும் மின்வாய் B ஆகியவை தூண்டு சுருளின் துணைச் சுற்றுடன் இணைக்கபபடுகின்றன. மின்வாய் A-ன் கீழ்முனைக்கும் திரவத்தின் மேற்பரப்பிற்கும் இடையே மின்பொறிகள் உருவாகின்றன. பொறி நிறமாலைகள் உலோகம், திரவம், கரைசல் ஆகியவற்றின் சிறப்பியல் நிறமாலைகளை ஆராயப்பயன்படுகின்றன. வில் நிறமாலையில் (Arc spectrum) தோன்றும் வரிகளைவிட அதிகச் செறிவுடைய வரிகள் இதில் கிடைக்கின்றன.

292 மண்டலத் தட்டு (Zone plate)

ஓர் எண்முகப்பை அரைஅலைவு மண்டலங்களாகப் பிரிக்கும் ஃபிரனெல்லின் கொள்கையைச் சரிபார்க்கும் வகையில் அமைக்கப்பட்ட அமைப்பு மண்டலத்தட்டு ஆகும். அனைத்து அரைஅலைவு மண்டலங்களும் சமபரப்புடையன, அவற்றின் ஆரங்கள் இயற்கை எண்களாகிய 1, 2, 3, ... ஆகியவற்றின் இருமடி மூலத்திற்கு நேர்தகவில் உள்ளன என்பதன் அடிப்படையில் மண்டலத்தட்டு உருவாக்கப்பட்டது. இதைத் தயாரிக்க வெள்ளைத் தாளில் முழு எண்களின் இருமடி மூலத்திற்கு ஒப்பான ஆரங்களைக் கொண்ட பொதுமைய வட்டங்களை வரைந்து, அவற்றில் ஒற்றைப்படை எண்களுடைய மண்டலங்களைக் கருமையாக்க வேண்டும். இதைச் சுருக்கி (reduced) புகைப்படமெடுத்துப் பார்த்தால் அதில் இரட்டைப்படை எண்ணுடைய மண்டலங்கள் கருப்பிடப்பட்டும், ஒற்றைப்படை எண்ணுடைய மண்டலங்கள் ஒளிபுகுமாறும் உள்ள படத்தட்டு கிடைக்கும். மையவட்டம் ஒளிபுகுமாறு உள்ள இவ்வமைப்பு நேர்மண்டலத் தட்டு (படம்1) ஆகும். மைய வட்டம் ஒளி புகாதபடி உள்ளது எதிர் மண்டலத்



தட்டு ஆகும் (படம்2). வெவ்வேறு அலை நீளங்களுக்கு வெவ்வேறு குவியத் தொலைவுடைய மண்டலத் தட்டில் கிடைக்கும் பிம்பம் அதிகப் பொலிவுடையதாக இருக்கும்.

293 **மின்காந்த நிறமாலை** (Electromagnetic spectrum)

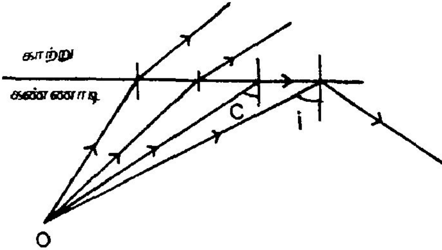
மின்காந்த நிறமாலையானது, காமாக் கதிர்கள், X–கதிர்கள், புற ஊதாக் கதிர்கள், கண்ணுறு ஒளிப்பகுதி, அகச் சிவப்புக் கதிர்கள், மைக்ரோ அலைகள் மற்றும் ரேடியோ அலைகள் என குறைந்த அலைநீளப் பகுதியிலிருந்து அதிக அலைநீளப் பகுதிவரை பரவியிருக்கும். எல்லா மின்காந்தக் கதிர் வீச்சுக்களின் தன்மையும் ஓரே மாதிரியாக இருக்கும். அவை அனைத்தும் ஒளியின் திசைவேகத்தில் செல்வன. அவை அதிர்வு எண்ணிலும், அலைநீளத்திலும் மட்டுமே மாறுபட்டு இருக்கும். பல்வேறு வகையான கதிர்வீச்சுக்கள் பருப்பொருட்களில் ஏற்படுத்தும் விளைவுகள் ஒன்றிலிருந்து ஒன்று மாறுபட்டு இருக்கும்.

ரேடியோ	மைக்ரோ	அகச் சிவப்பு	கண்ணுறு மற்றும் புறஊதா	எக்ஸ்	காமா
3×10^{6}	3×10^{10}	3×10^{12}	3×10^{14}	3×10^{16}	3×10^{18}

அதிர்வு எண் (Hz)

294 **முழு அக எதிரொளிப்பு** (Total internal reflection)

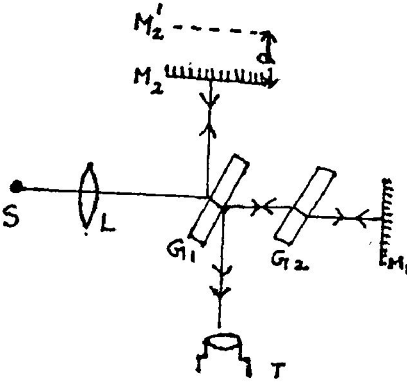
ஒளிக்கதிர் அடர்மிகு ஊடகத்திலிருந்து (கண்ணாடி) அடர்குறை ஊடகத்திற்கு (காறறு) செல்லும்போது குத்துக கோட்டைவிட்டு விலகிச் செல்லும. விலகுகோணம் படுகோணத்தைவிட அதிகமாக இருக்கும். படுகோணத்தின் மதிப்பு உயரும்போது விலகு கோணத்தின் மதிப்பு மிக விரைவாக அதிகரிக்கும். ஒரு குறிப்பிட்ட படுகோணத்திற்கு (c) விலகுகதிர் ஊடகங்களின் பிரிதளத்தை உரசிச் செல்கின்றது. இப்படுகோண மதிப்பு ஊடகத்தின் மாறு நிலைக் கோணம் c எனப் படும். படுகோணத்தின் மதிப்பு மேலும் அதிகரிக்கும்போது (i>c) ஒளிக்கதிர் அடர்குறை ஊடகத்தில் விலகல் அடையாமல் அடர்மிகு ஊடகத்திலேயே முழுமையாக எதிரொளிக்கப் படுகின்றது. இந்நிகழ்வு முழு அக எதிரொளிப்பு எனப்படுகிறது. படுகோணம் மாறுநிலைக் கோணமாக உள்ளபோது



$\mu = (\sin 90/\sin c) = (1/\sin c)$ ஆகும். முழு அக எதிரொளிப்பிற்கான நிபந்தனைகள்: 1. ஒளிக்கதிா அடர்மிகு ஊடகத்திலிருந்து அடர்குறை ஊடகத்திற்குச் செல்ல வேண்டும்; 2. அடர்மிகு ஊடகத்தில் படுகோண மதிப்பு மாறுநிலைக் கோணத்தைவிட அதிகமாக இருக்க வேணடும. கானல் நீா, விண்மீன்களின் பொலிவு, வைரத்தின் பளபளப்பு போன்றவை முழு அக எதிரொளிப்பால் ஏற்படுகின்றன.

295 **மைக்கல்சன் குறுக்கீட்டு விளைவுமானி** (Michelson's interferometer)

ஒளிமூலம் S–லிருந்து வரும் ஒளிக்கற்றை அதன் பாதையில் சாய்வாக வைக்கப்பட்டுள்ள கண்ணாடித் துண்டு G_1–ல் இரு கூறுகளாகப் பிரிந்து செல்லும். பின்னர் இக் கூறுகள் முறையே M_1, M_2 ஆடிகளில் எதிரொளிப்பு அடைந்து மீண்டும் சாய்தளத்தில் சந்திக்கும்போது குறுக்கீட்டு விளைவை நிகழ்த்தும். ஒளிக்கூறுகளின் பாதை வேறுபாட்டை (path difference) ஈடுசெய்ய G_2–என்னும் கண்ணாடித் துண்டு வைக்கப் பட்டுள்ளது. தொலைநோக்கி T–யில் மூன்று நிழலுருக்கள் தோன்றும். இதில் இரண்டு நிழலுருக்கள் ஒளிப்பொலிவானவை. M_1, M_2 ஆடிகளின் தளங்களை அதிலுள்ள திருகுகளைக் கொண்டு சரிசெய்தால், பொலிவான இரு பிம்பங்களும் இணையும், சோடியம் விளக்கி லிருந்து

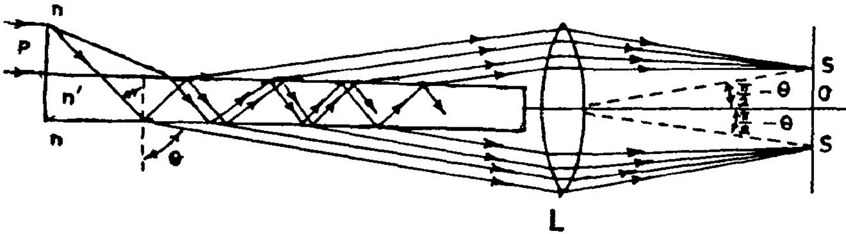


ஒளியை L என்ற குவிவில்லை வழியாகச் செலுத்தி நேராக விழச்செய்தால், குறுக்கீட்டு விளைவு வரிகள் பொதுமைய வளையங் களாகத் தோன்றும்.

மைக்கல்சன் குறுக்கீட்டு விளைவு ,மானியை ஓரலை ஒளிமூலங்களின் அலை நீளத்தை கணக்கிடவும், சோடியம் இரட்டை வரிகளின் அலை நீள வேறுபாட்டை அளக்கவும் மற்றும் அப்பிரகம் என்னும் மைக்கா தகட்டின் (mica sheet) ஒளிவிலகல் எண்ணைத் தீர்மானிக்கவும் பயன்படுத்தலாம்.

296 லம்மர்–கெர்க்கி தட்டு (Lummer-Gehreke plate)

லம்மர்–கெர்க்கி ஆகிய இருவரால் வடிவமைக்கப்பட்ட இத்தட்டு சமசாய்வுள்ள பலகற்றை வரிகளைத் (multiple beam fringes) தோற்றுவிக்கும். இது சுமார் 20 செ.மீ. நீளமும், 2 செ.மீ. அகலமும் 0.5 செ.மீ. தடிமனுமுள்ள ஒளியியல் சமதளம் வாய்ந்த கண்ணாடி அல்லது



குவார்ட்ஸ்–ஆல் உருவானது. படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு தட்டின் ஒரு முனையில் செங்கோண முப்பட்டகம் (P) பொருத்தப் பட்டிருக்கும். பிளவின் வழியாக வரும் ஒற்றை நிற ஒளிக்கதிர் முப்பட்டகத்தில் முழு அக எதிரொளிப்பு (total internal reflection) அடைந்து தட்டின் கீழ்ப்பரப்பில் ஏறத்தாழ மாறுநிலைக் கோணத்தில் படுகிறது. ஒளிக்கற்றை அக எதிரொளிப்பு மற்றும் ஊடுறுவல் வாயிலாக தட்டின் கீழ்ப்புறமும் மேற்புறமும் இணைக்கற்றைகளாக வெளிவரு கின்றன. இவ்விணைக்கற்றைகள் நிறப்பிறழ்ச்சியற்ற வில்லையால் (L) கூர்மையான உயர்படி ஒளிவரிகளை (high resolution spectrum) S–ல் தோற்றுவிக்கும்.

297 லாம்பர்ட் கொசைன் விதி (Lambert's cosine law)

ஒரு புள்ளி ஒளி மூலத்திலிருந்து L அலகுடைய ஒளிப்பாயம் ds என்ற பரப்பின் மீது விழும்போது அப்பரப்பின் ஒளி விளக்கச் செறிவினை (intensity of illumination,I).

$$I = \frac{L \cos \theta}{r^2}$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிப்பிடலாம். இதுவே 'லாம்பர்ட் கொசைன் சமன்பாடு' எனப்படும். அதாவது 'ஒளி விளக்கச் செறிவானது ஒளி மூலத்திற்கும் ஒளியூட்டப்பட்ட பரப்பிற்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தின் (r) இருமடிக்கு எதிர்த்தகவிலும், $\cos\theta$ அளவின் நேர்த்தகவிலும் இருக்கும்'. இதில் θ என்பது ஒளியூட்டப்பட்ட பரப்பு ஒளிமூலத்திற்கு நேர்க்குத்தாக இல்லாமல் எந்த அளவு சாய்ந்திருக்கிறது என்பதைக் குறிக்கும். இதுவே 'லாம்பர்ட்–கொசைன் விதி' எனப்படும். இவ்விதியின்படி ஒளியூட்டப்பட்ட பரப்பு ஒளிமூலத்திற்கு நேர்குத்தாக இருந்தால், ஒளிவிளக்கச் செறிவு பெரும மதிப்பைப் பெறும்.

298 லுமினன்ஸ் (Luminance) அல்லது ஒளி அளவியல் பொலிவு (Photometric brightness)

சுய உமிழ்வு அல்லது ஒளிப்பாய எதிரொளிப்பு நிகழும் பரப்பிலுள்ள ஒரு புள்ளியின் 'லுமினன்ஸ்' எனப்படும் 'ஒளி அளவியல் பொலிவை' (L) L = (dI)/(cos α dA) என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து கணக்கிடலாம். இதில் dA என்பது வேறுபடு புறப்பரப்பையும் (differential surface area), dI என்பது வேறுபடு ஒளிவிளக்கச் செறிவையும் (differentialluminousintensity), α என்பது பரப்பின் செங்குத்துக்கும் பார்வைத் திசைக்குமுள்ள கோணத்தையும் குறிக்கும். சமன்பாட்டில் cos α dA என்பது பார்வைத் திசையில் வேறுபடுபகுதியில் ஒரு எறிதளத்தைக் (projected area) குறிக்கும். எனவே 'லுமினன்ஸ்' எனப்படும் 'ஒளி அளவியல் பொலிவை' கீழ்க்கண்டவாறு வரையறுக்கலாம்:

வேறுபடு ஒளிவிளக்கச் செறிவுக்கும், எறிந்த வேறுபடு பரப்பிற்கும் உள்ள தகவு லுமினன்ஸ் (L) எனப்படும்.

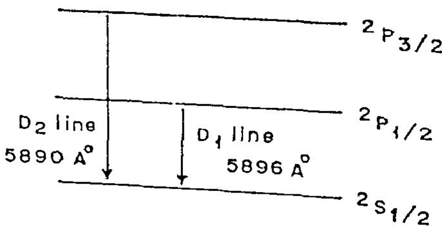
லுமினன்ஸ் மெட்ரிக் (S.I) அலகுகளில் காண்டிலா/மீ^{2} (candela per square meter) என்ற முறையில் அளவீடு செய்யப்படுகிறது. இந்த அலகை நிட் (nit) என்றும் கூறுவர். காண்டிலா /செ.மீ^{2}. (cd/cm^2) இதன் சிறு அலகாகும். இதனை ஸ்டில்ப் (stilb) என்பர். π–ஐ உபயோகித்து அபோஸ்டில்ப் (apostilb = cd/πm^2), லாம்பர்ட் (lambert = cd / πcm^2) மற்றும் புட்லாமபர்ட் (foot lambert = cd/πft^2) என்ற வேறு அலகுகளாலும் லுமினன்ஸை மதிப்பிடலாம.

299 வண்ண (சாய) லேசர் (Dye laser)

வண்ண (சாய) லேசர் என்பது கண்ணுறு பகுதியில் குறிப்பிட்ட அலைநீளத்தை உடைய ஒளியைத் தெரிவு செய்யும் லேசர் ஆகும். நீர், ஆல்கஹால்கள், எத்திலின் கிளைககால் போன்ற கரைப்பான்களில் கரைக்கப்பட்டுள்ள கரிமப்பொருட்கள் வண்ணங்களாகப் பயன்படுகின்றன. இத்தகைய வண்ணப் பொருட்கள் கண்ணுரு பகுதியில் பொலிவுடைய படடை ஒளிர் நிறமாலையைக் காட்டுகின்றன. இப்பண்புதான் தேவையான லேசரைத் தேர்வு செய்யத் துணை செய்கிறது. ரோடமைன் 6G வண்ணப் பொருளாகப் பெருமபாலும் பயன்படுகிறது. வண்ண லேசர்களில் ஒளித் தெறிப்புக் குழாய்கள், துடிப்பு லேசர் (அல்லது) தொடர்ச்சியான லேசர் அலைகள் பம்ப் செய்யும் மூலங்களாக (அல்லது) அணுத் தொகை ஆற்றல் ஏற்றத்திற்குக் காரணமான மூலங்களாகச் செயற்படுகின்றன. எதிரொளிப்புக் கீற்றணி, முப்பட்டக–ஆடிக் கூட்டமைப்பு போன்ற அமைப்புகளைப் பயன்படுத்தி வண்ண லேசர்களில் தேவையான அலைநீளங்களைத் தேர்ந்தெடுக்க முடியும். வெவ்வேறு விதமான வண்ணப் பொருட்களைத் தேர்நதெடுபபதன் மூலம், 400 நானோமீட்டர் முதல் 1000 நானோமீட்டர் வரையிலான அலைநீளங்களையுடைய லேசர்களைத் தெரிவு செய்யலாம். (1 நானா மீட்டர் = 1x 10^{-9} மீடடா).

300 D - வரிகள் (D-lines)

சோடிய ஆவி விளக்கு உமிழும் ஒளி 5893Å அலைநீளம் கொண்டதாகத் தோன்றுகிறது. ஆனால் அதே ஒளியை விளிம்பு விளைவுக் கீற்றணி மூலம் நோக்கும்போது கீற்றணியின் பிரி திறனால், ஒற்றை நிற வரியானது சற்றே வேறுபட்ட அலைநீளங்களைக் கொண்ட இரண்டு வரிகளாகப் பிரிக்கப் பட்டு இருப்பது தெரியும். இவ்வரிகள்



சோடிய D–வரிகள் எனப்படும். இவ்வரிகளின் அலைநீளங்கள் 5890Å, 5896Å ஆகும். தற்சுழற்சி–சுற்றுப்பாதைத் தொகுத்தி ணைப்பால், (spin-orbit coupling) P ஆற்றல் மட்டம், $P_{\frac{3}{2}}$ மற்றும் $P_{\frac{1}{2}}$ ஆற்றல் மட்டம் என இரு ஆற்றல் மட்டங்களாகப் பிரிகிறது. கிளர்ச்சியுற்ற எலக்ட்ரான், இந்த மட்டங்களி னின்று அடிமட்ட நிலை யாற்றல் ஆற்றல் மட்டம் $S_{\frac{1}{2}}$-ஐ அடையும் போது, வெளிப்படும் போட்டானின் அலைநீளம் முறையே 5890Å, 5896Å என்று இருக்கும்.

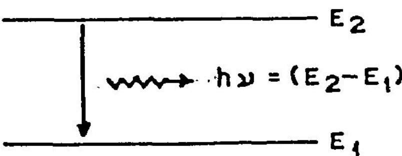
301 விளிம்புவிளைவுக் கீற்றணி (Diffraction grating)

அதிக எண்ணிக்கையிலான சமதூரத்தில் அமைந்த இணையான பிளவுகளால் ஆன ஓர் அமைப்பு. இது ஒளியின் விளிம்புவிளைவு பற்றி அறியப் பயன்படுகிறது. விளிம்புவிளைவு நிகழ்வைக் காணக் கீற்றணியின் தளத்தில் படும் ஒளியின் அலை நீளமானது பிளவின் அகலத்திற்கு ஒப்பிடத்தக்கதாக இருக்கவேண்டும். கீற்றணி இரண்டு வகைப்படும்: 1. ஊடுறுவுக் கீற்றணி; 2. எதிரொளிப்புக் கீற்றணி. முதலாவது ஓர் ஊடுறுவும் பொருளாலான தகட்டில் வைர ஊசியின் உதவியால் கீரப்பட்டிருக்கும் கீற்றணி. கோடுகள் உள்ள பகுதி ஒளிபுகாத் தன்மையுடையதாகவும் இரு கோடுகளுக்கு இடைப்பட்ட வெளி ஒளிபுகும் பிளவாகவும் செயற்படும். எதிரொளிப்புக் கீற்றணி, ஓர் எதிரொளிப்புத் தளத்தின்மீது சம அகலமுடைய, இணைகோடுகளைக் கொண்டதாகும். பொதுவாக, ஆய்வகங்களில் பயன்படும் கீற்றணிகளில் 1 செ.மீ. அகலத்தில் 6000 கோடுகள் வரையப்பட்டு இருக்கும். கீற்றணியின் தரம் அதில் வரையப்பட்ட கோடுகளின் நேர் கோட்டுத் தன்மை, இணைபண்பு, கோடுகளின் சமதூரம் ஆகியவற்றைப் பொறுத்தது. அவை கருமையான பின்னணியில் தெளிவான விளிம்புவிளைவு நிகழ்வை ஏற்படுத்தவல்லவை.

302 விளிம்புவிளைவுக் கீற்றணி நிறமாலை (Diffraction spectrum)

ஓர் ஒற்றை நிற ஒளிக்கதிரானது ஒரு கீற்றணியின் தளத்தில் செங்குத்தாக விழும்போது, ஏற்படும் விளிம்புவிளைவு, கீற்றணியில் உள்ள பிளவுகளினூடே வரும் ஒளிக் கதிர்களுக்கு இடைப்பட்ட பாதை வேறுபாடு, மற்றும் விளிம்புவிளைவுக் கோணம் θ–வைப் பொறுத்தது. விளிம்புவிளைவிற்கு உட்பட்ட கதிர்கள் எல்லாத் திசைகளிலும் பரவிச் செல்லும். இந்தக் கதிர்கள் திரையில் குறுக்கீட்டுப் பட்டைகளைத் தோற்றுவிக்கும். ஒளிக் கதிர்களுக்கு இடைப்பட்ட பாதை வேறுபாடு, ஒளியின் அலைநீளத்தின் (λ) முழு எண் மடங்குகளாக இருந்தால், திரையில் ஒளியின் செறிவு பெருமமாக இருக்கும். அதாவது, $d \sin \theta = n \lambda$. இங்கு d, இரு அடுத்தடுத்த பிளவு களின் மையங்களுக்கு இடைப்பட்ட தூரம்; n, வரிசை எண். விளிம்புவிளைவிற்கு உட்படாத ஒளிக்கதிர்கள் திரையில் முதல்நிலைப் பெருமச் செறிவை (மையப் பொலிவை) ஏற்படுத்தும். முதல்நிலைப் பெருமச் செறிவின் இருமருங்கிலும் செறிவு, குறைந்த இரண்டாம் நிலைப் பெருமச் செறிவுகள உருவாகும். இவற்றின் கூட்டுத் தொகுப்பு விளிம்புவிளைவுக் கீற்றணி நிறமாலை எனப்படும். இந்நிறமாலையை ஆய்வகத்தில் உள்ள நிறமாலைமானி மூலம் காணமுடியம்.

303 வெளியீடு நிறமாலை (Emission spectrum)



ஓர் எலக்ட்ரான் உயர் ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து குறைந்த ஆற்றல் மட்டத்திற்குத் தாவும்போது, போட்டான்கள் தோற்றுவிக்கப் படுகின்றன. அவை ஆற்றலைக் கவளங்களாக வெளிவிடுகின்றன. இந்நிகழ்ச்சி உமிழ்வு நிகழ்ச்சி எனப்படும். வெளியிடப்பட்ட போட்டான் ஆற்றலின் அளவு அவ்விரு ஆற்றல் மட்டங்களுக் கிடையே

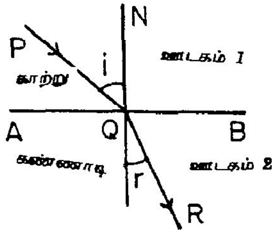
உள்ள ஆற்றல் வேறுபாட்டிற்குச் சமமாக இருக்கும். திண்மப் பொருட்களை (எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு மின் விளக்கில் உள்ள டங்ஸ்டன் மின்னிழை) சூடு படுத்தும்போது, தொடர்நிறமாலை தோன்றும். அப்பொருட்களினால் உமிழப்பட்ட கதிர்வீச்சு நிறமாலையில் பங்கீடானது அவற்றின் வெப்பநிலையைச் சார்ந்து அமையும். அதுபோலவே, குறைந்த அழுத்தத்தில் பொருட்களில் உள்ள அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகள் ஒன்றுக்கொன்று தொலைவில் இருக்கும். எனவே அவை ஒன்றுக்கொன்று ஈர்ப்பிணைப்புப் பெற்றிருக்காது. அதனால் குறைந்த அழுத்தத்தில் உள்ள ஆவி நிலையில் உள்ள தனிமங்கள், அதாவது, ஹைட்ரஜன், நியான், சோடியம் மற்றும் பாதரசம் என்பன தனித்தனியான வரிநிறமாலைகளைத் தருகின்றன. அந் நிறமாலை வரிகளிலிருந்து அத்தனிமங்களை எளிதில் தெரிந்து கொள்ளலாம்.

304 ஸ்னெல் ஒளிவிலகல் விதிகள் (Snell's laws of refraction)

விதி 1: படுகதிர், விலகுகதிர், படுபுள்ளியில் வரையப்படும் குத்துக்கோடு, ஆகியவை ஒரே தளத்தில் அமையும்;

விதி 2: குறிப்பிட்ட நிறமுடைய ஒளிக்கதிர் இரு குறிப்பிட்ட ஊடகங்களிடையே ஒளிவிலகல் அடையும்போது படுகோணத்தின் நெடுக்கைக்கும் (sine), விலகு கோணத்தின் நெடுக்கைக்கும் உள்ள தகவு மாறிலியாக இருக்கும். இரண்டாம் விதியே பொதுவாக ஸ்னெல் விதி எனப்படும்.

இரு ஊடகங்களின் (காற்று–கண்ணாடி) பிரிதளம் AB என்போம் (படம்) . i படுகோணத்தில் விழும் படுகதிர் PQ, r விலகுகோணத்துடன் குத்துக்கோட்டை நோக்கி (QR) வளைகின்றது. ஸ்னெல் விதிப்படி (sin i/sin r) = மாறிலி. இம்மாறிலி முதல் ஊடகத்தைப் பொறுத்து இரண்டாம் ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் $_1\mu_2$ எனப்படும். முதல் ஊடகம் காற்று எனில் இம்மாறிலி இரண்டாவது ஊடகத்தின் (கண்ணாடி) ஒளிவிலகல் எண்ணை $\mu_{க}$ தரும். ஒளிவிலகல் எண், ஒளியின் நிறம் கொடுக்கப் பட்ட ஊடகங்களைப் பொறுத்து அமையும். ஊதா நிற ஒளிக்கு இதன் மதிப்பு அதிகமாகவும், சிவப்பு நிறத்திற்குக் குறைவாகவும் இருக்கும்.



ஒளிக்கதிர் RQP என்ற பாதையில் திருப்பப்படுமாயின் (sin r/sin i) = மாறிலி = $_2\mu_1$. பொதுவாக $_1\mu_2 = (1/_2\mu_1)$.

வெப்பவியலும் வெப்ப இயக்கவியலும்

Heat and Thermodynamics

305 **ஆட்டோ சுற்று** (Otto cycle)

ஓர் உள்ளெரி எந்திரத்தில், காற்று செயற்படு பொருளாயும், பெட்ரோல் ஆவி எரிபொருளாயும் பயன்படும்போது நிகழும் சுற்று. ஆட்டோ சுற்றில் நான்கு தாக்குகள் உள்ளன. அவை: 1. **ஏற்புத் தாக்கு** : உந்துதண்டு முன்னோக்கி நகர்ந்து பெட்ரால் ஆவியும் காற்றும் உள்ளே இழுக்கப்படுதல்; 2. **இறுக்குத் தாக்கு**: வாயுக் கலவை உந்து தண்டினால் அமுக்கப்பட்டு வெப்பநிலை 600°C-க்கு உயர்தல்; இதன் முடிவில் மின்பொறி ஏற்பட்டு கலவை வெடிப்பதால் அழுத்தமும் வெப்பநிலையும் உயரும்; 3. **செயல்தாக்கு** : உந்துதண்டு வெளியே தள்ளப்படுவதால் வாயு விரிவடைந்து வேலை செய்தல்; 4. **வெளியேற்றுத் தாக்கு**: வெளியேறு திறப்பான் திறந்து கொண்டு, உந்துதண்டு மேல்நோக்கி நகர்வதால் காற்றும், எரிந்த பொருட்களும் வெளியே தள்ளப்படுதல்.

$$\text{இச்சுற்றின் பயனுறு திறன்} = 1 - \left(\frac{1}{\rho}\right)^{\gamma - 1}.$$

இங்கு ρ என்பது வெப்பமாற்றீடற்ற பெருக்கத் தகவு; γ என்பது காற்றின் இரு தன் வெப்ப ஏற்புத் திறன்களின் தகவு.

306 **ஈர அளவியல்** (Hygrometry)

வளிமண்டலத்தில் நீராவி (water vapour) ஏற்படும் விதம் அதனைக் கணக்கிடும் முறை, இவை பற்றிய அறிவியல் பகுதி. சார்பு ஈரப்பதம் (Relative humidity) என்பது பனிநிலைக்குறிய தெவிட்டிய நீராவி அழுத்தத்திற்கும் காற்றின் வெப்ப நிலைக்குறிய தெவிட்டிய நீராவி அழுத்தத்திற்கும் இடையே உள்ள தகவாகும். இந்தத் தகவை அளக்கப் பயன்படும் கருவிக்கு ஈரமானி என்று பெயர். பல்வகைப்பட்ட ஈரமானிகள் உள்ளன. இவற்றில் வேதியல் முறை ஈரமானி (chemical hygrometer), டேனியல் ஈரமானி (Daniel's hygrometer), ரெக்னால்ட் ஈரமானி (Regnault's hygrometer) என்பன மிகவும் குறிப்பிடத்தக்கவை. ஈரப்பதம் குறிப்பிட்ட அளவில் இருக்க வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, சார்பு ஈரப்பதம் 50 % அல்லது 60 % இருக்கும் பொழுது நாம் சுகமாக வேலை செய்யமுடிகிறது. சார்பு ஈரப்பதம் குறைவாக இருக்கும் பொழுது நம்மைச் சுற்றியுள்ள காற்று உலர்ந்திருப்பதை உணர்கிறோம். சார்பு ஈரப்பதம் அதிகமாக இருக்கும்பொழுது காற்று குளிர்வடைகிறது. தொழிற்சாலைகளில் காற்றின் ஈரப்பதம் முக்கிய பங்கு வகிக்கிறது. பருத்தி, புகையிலைத் தொழிற்சாலைகளில், ஈரப்பதம் அதிகமாக இருக்கவேண்டும். இல்லையென்றால் அங்கு பணிபுரியும் தொழிலாளர்களின் உடல்நலம் பாதிக்கப்படும். மேலும் ஈரப்பதம் குறையும்போது பருத்தியின் நூலிழைகள் உராய்வினால் மின்னோட்டம் அடைந்து சரியாகச் சுழலாமல், சமபருமனற்ற நூலிழைகளை உண்டாக்கும். கப்பல்களில் உணவுப் பண்டங்களை நல்ல முறையில் பாதுகாத்துக் கெட்டுப் போகாமல் வைப்பதற்கு ஈரப்பதம் குறிப்பிட்ட அளவில் இருக்க வேண்டும்.

307 **உலர் பனிக்கட்டி** (Dry ice)

கார்பன் டை ஆக்ஸைடு, திடப்பொருள் நிலையில் உலர் பனிக்கட்டி எனப்படும். இது இயல்பான பனிக்கட்டியைக் காட்டிலும் உயர்ந்த பண்புகளைப் பெற்றிருக்கின்றது. ஏனெனில், திரவமாக மாற்றமடையாமல் நேரடியாக ஆவியாகும் தன்மையுடன் அதிகக் குளிர் நிலையையும் தரவல்லது. எனவே இது பயன்படுத்த மிகவும் எளிதானது. பயன்கள்: இது குளிர்பதனியாகப் பயன்படுகின்றது. இறைச்சி, மீன், ஐஸ்கிரீம் போன்ற எளிதில் கெட்டுப்போகும் உணவு வகைகள் கெடாமல் பாதுகாக்க மிகவும் பயன்படுகின்றது. நேரடியாக ஆவியாகும் பண்பைப் பெற்றிருப்பதால் நோயாளிகளுக்கு உடற்புண் வராமல் காக்கும் படுக்கை தயாரிக்கப் பயன்படுகின்றது. குளிர்சாதனப் பெட்டிகளில்

பயன்படுத்தப்படும் ஃபிரியான் (Freon) என்ற வாயு வான மண்டலத்தில் உயிரினப் பாதுகாப்பாக விளங்கும் ஓசோன் (ozone) மண்டலத்தைத் துளைக்கும் தன்மை வாய்ந்தது. உலர் பனிக்கட்டியைக் கொண்டு குளிர்சாதனப் பெட்டிகள் தயாரிக்கும் காலம் வெகுதொலைவில் இல்லை.

308 உள்ளுறை வெப்பம் (Latent heat)

ஒரு பொருள் திட, நீர்ம, வாயு ஆகிய மூன்று நிலைகளில் ஏதேனும் ஒன்றில் இருக்கும். வெப்பத்தை ஊட்டுவதன் மூலம் நிலை மாற்றம் ஏற்படும். காட்டாக, பனிக்கட்டியை வெப்பப்படுத்தினால் நீராகவும், நீரைச் சூடேற்றினால் நீராவியாகவும் மாற்றமடையும் என்பது திண்ணம். இவ்வகை மாற்றங்கள் நிகழும்போது வெப்பம் ஏற்கப்படவோ அல்லது வெளிவிடப்படவோ செய்யும். பனிக்கட்டியின் வெப்பநிலை 0°C ஆக இருக்கும்போது அது தன் வெப்பநிலையை மாற்றாமலேயே முழுவதும் உருகுநீராக மாறும். அதேபோல் நீர் 98°C–யில் கொதிக்கத் தொடங்கி, முழுவதும் ஆவியாகும்வரை வெப்பநிலை மாற்றம் பெறுவதில்லை. எனவே பனிக்கட்டி நீராகவும், நீர் நீராவியாகவும் மாற்றமடையும்போது பெறப்படும் வெப்பம் வெளியில் தெரியாமல் அதனுள்ளேயே உறைந்து கிடப்பதாகக் கொள்வதால், இதனை உள்ளுறை வெப்பம் என்கிறோம். உள்ளுறை வெப்பத்தில் உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பம் (latent heat of fusion) எனவும், ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பம் (latent heat of vapourisation) எனவும் இருநிலைகள் உள்ளன. இவ்வகை மாற்றங்களை எதிரிடையாகவும், அதாவது, நீராவியை நீராகவும், நீரைப் பனிக்கட்டியாகவும் செய்ய முடியும். அப்பொழுது உள்ளுறை வெப்பம் வெளிப்படும். மேலும் சில பொருட்கள் வெப்பத்தை ஏற்றுக்கொண்டு திட நிலையில் இருந்து திரவநிலை மாற்றம் பெறாமலேயே வாயு நிலையை எட்டிவிடுவதும் உண்டு. இதனை பதங்கமாதல் (sublimation) என்ற சொல் குறிக்கின்றது. கற்பூரம் எரிந்து ஆவியாவதை இதற்கு எடுத்துக்காட்டாகக் கூறலாம்.

309 உள்ளெரி எந்திரம் (Internal combustion engine)

வெப்ப ஆற்றலை, இயக்க ஆற்றலாக மாற்ற வேண்டி எரிபொருளை எந்திர உருளைக்குள்ளேயே எரிக்கும் எந்திரம். இதில் பெட்ரோல் ஆவியுடன் காற்று கலக்கப்பட்டு உருளைக்குள் எரிக்கப்படுவதால், வெப்ப ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது. உருளைக்கு வெளியே உள்ள வளி மண்டலம் வெப்ப ஏற்பியாகப் பயன்படுகின்றது. உள்ளெரி எந்திரங்கள் இரு வகைப்படும்: 1. ஆட்டோ எந்திரம்; 2. டீசல் எந்திரம். ஆட்டோ எந்திரத்தில் பெட்ரோல்வாயு பயன்படுத்தப்பட்டு, வாயுக்கலவை பருமன்மாறா நிலையில் எரிந்து வெப்பம் உண்டாக்குகிறது. டீசல் எந்திரத்தில் டீசல் போன்ற தூய்மைப் படுத்தப்படாத எண்ணெய் பயன்படுத்தப்பட்டு அது மாறா அழுத்த நிலையில் எரிக்கப்பட்டு வெப்பம் வெளிபடுகிறது. ஆட்டோ எந்திரத்தின் பயனுறு திறன் $\eta = 1 - (1/\rho)^{r-1}$; இங்கு ρ என்பது வெப்ப மாற்றீடற்ற பெருக்கத் தகவு; r என்பது காற்றின் இருதன் வெப்ப ஏற்புத் திறன்களின் தகவு; டீசல் எந்திரத்தின் பயனுறு திறன் $\eta = 1 - (1/r)(1/\rho)^{r-1}\left[(e^{r} - 1)/(e - 1)\right]$. டீசல் எந்திரத்தைவிட ஆட்டோ எந்திரத்தின் பயனுறு திறன் அதிகம். ஆனால் செயல்முறையில் டீசல் எந்திரத்தின் இறுக்குத் தகவு அதிகமாய் இருப்பதால், அது அதிகப் பயனுறு திறனுடன் செயல்படுகிறது.

310 எதிர்மறை வெப்பநிலை (Negative temperature)

ஒரு பொருளின் வெப்பநிலை அதிகரிக்கும்பொழுது அதன் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன் குறைந்துகொண்டே செல்கிறது. வெப்பநிலை முடிவற்ற மதிப்புக்கு அதிகரிக்கும்போதும் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன் சுழியாவதில்லை. இது பொருளின்

வெப்பநிலை நேர்குறியுடையது என்பதைக் காட்டுகிறது. ராம்சே என்பவர் செய்த சோதனை முடிவுகள், ஓர் அமைப்பின் சிறு பகுதி அல்லது திடப் பொருட்களின் மையப்பகுதி எதிர்மறை வெப்பநிலையில் இருக்கலாம் எனக் காட்டுகின்றன. இந்த உள்ளமைப்பு, திடப்பொருளின் மூல அமைப்பிலிருந்து தனிமைப் படுத்தப் பட்டிருக்கும். வெப்பநிலை அதிகரிக்கும்போது இந்த உள்ளமைப்பின் வெப்பநிலை சுழி மதிப்புக்குக் குறையும். இதற்கு மேலும் வெப்பம் கொடுத்து வெப்பநிலையை மிக அதிகமான அளவிற்கு அதிகரித்தால், உள்ளமைப்பின் வெப்பநிலை எதிர்மறை வெப்பநிலையாக மாறும். இத்தகைய எதிர்மறை வெப்பநிலை நேர்மறை வெப்பநிலையைவிட அதிகமானது. எதிர்சுழி வெப்பநிலை (-O) மிக அதிகமான வெப்பநிலையாகும். நேர்சுழி (+O) வெப்பநிலை மிகக்குறைந்த வெப்பநிலையாகும். ஒரு பொருளின் அமைப்பு முழுதும் எதிர்மறை வெப்பநிலையைப் பெற இயலாது. தனிமைப்படுத்தப்பட்ட சிறிய அமைப்புகளில் மட்டும் அப்படிப் பெற இயலும்.

311 *என்ட்ரபி* (Entropy)

என்ட்ரபி என்பது ஒரு பொருளின் வெப்ப இயக்கவியல் பண்பாகும். ஒரு பொருள் T கெல்வின் வெப்ப நிலையில் இருக்கும்போது அது இழக்கும் அல்லது ஏற்கும் வெப்பம் dQ எனில், $dS = (dQ/T)$ என்ற மதிப்பு அதில் ஏற்படும் என்ட்ரபி மாறுபாடு எனப்படும். ஒரு பொருளில் ஏற்படும் மொத்த என்ட்ரபி மாறுபாடு $S = \int (dQ/T)$ ஆகும். வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுகளில் என்ட்ரபி மாற்றம் ஏற்படுவது இல்லை. மாறா வெப்ப நிலை நிகழ்வுகளில் என்ட்ரபி மாற்றம் ஏற்படுகிறது. இந்நிகழ்வுகளில் வெப்பம் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டால் என்ட்ரபி அதிகரிக்கிறது. வெப்பம் இழக்கப்பட்டால் என்ட்ரபி குறைகிறது. கார்னோ சுற்று போன்ற நேர் எதிர்பண்புள்ள நிகழ்வுகளில் என்ட்ரபி மாறுபாடு ஏற்படுவது இல்லை. நேர் எதிர்பண்பற்ற நிகழ்வுகளில் (வெப்பக் கடத்தல், வெப்பக் கதிர் வீசல் போன்றவை) என்ட்ரபி அதிகரித்துக் கொண்டே செல்கிறது. இப் பேரண்டத்தில் நேர் எதிர்பண்பற்ற நிகழ்வுகள் நடைபெறுவதால், என்ட்ரபி அதிகரித்துக் கொண்டே செல்கிறது. என்ட்ரபி அதிகரிக்கும்போது, பயன்படக்கூடிய வெப்பம் குறைந்து கொண்டே செல்கிறது. இறுதியில் என்ட்ரபி பெரும மதிப்பை அடையும்போது பயன்படுத்தக்கூடிய வெப்பம் இல்லாமல் போவதால் வெப்பச்சாவு (heat death) ஏற்படுகிறது.

312 *என்தால்பி* (Enthalpy)

என்தால்பி என்பது ஒரு பொருளின் வெப்ப இயக்கவியல் பண்பாகும். ஒரு பொருளின் உள் ஆற்றல் U, அழுத்தம் P, பருமன் V எனில், அப்பொருளின் என்தால்பி $h = U + PV$ ஆகும். ஒரு வாயுவின் என்தால்பி என்பது அதன் உள்ளாற்றல், அதனால் செய்யப்படும் வேலை இவற்றின் கூட்டுத் தொகையாகும். என்தால்பி மாற்றம்

$$dh = (dU + PdV) + VdP$$
$$= \delta H + VdP$$

$$\left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P = C_P$$

எனவே மாறா அழுத்த நிலையில் வெப்பநிலையைப் பொறுத்து என்தால்பி மாறும் வீதம் அதன் அழுத்தம் மாறா நிலையில் தன்வெப்ப ஏற்புத் திறனுக்கு சமம்.

மேலும் $dh = \delta H$

$$h_f - h_i = H.$$

அதாவது ஒரு வாயுவில் ஏற்படும் என்தால்பி மாறுபாடு அதில் ஏற்படும் வெப்ப மாற்றத்திற்கு சமம். ஒரு வாயு சிறு துவாரத்தின் வழியே சென்று விரிவடையும் ஜூல் – கெல்வின் நிகழ்வில், H = 0 ஆதலால்

$$H = U_f - U_i + W$$

$$O = U_f - U_i + P_fV_f - P_iV_i$$

$$U_i + P_iV_i = U_f + P_fV_f.$$

எனவே ஜூல்–கெல்வின் விளைவில் வாயுவின் என்தால்பி மாறுவதில்லை.

313 குளிர்பதனம் (Refrigeration)

செயற்கைமுறையில் குளிர்நிலையை உண்டாக்கும் முறை: குறைந்த அழுத்தத்தில் உள்ள ஒரு குறிப்பிட்ட திரவத்தைத் திடீர் அழுத்த மாற்ற முறையில் ஆவியாக்கும்போது குளிர்நிலை உருவாக்கப்படுகின்றது. இதனடிப்படையில் இயங்கும் கருவி குளிர்சாதனப் பெட்டி எனப்படும். ஆவியாக்கி (evaporator) மற்றும் ஏற்பி (condenser) என்ற இரு கட்டங்களில் இது செயற்படுகிறது. ஆவியாக்கியில் திரவம் வாயுவாக மாற்றப்பட்டு கருவியில் உண்டாகும் வெப்பத்தை எடுத்துக்கொண்டு மீண்டும் ஏற்பியில் திரவமாக மாற்றப்படுகின்றது. ஆவியாக்கி 0°C–யிலும் ஏற்பி -15°C–யிலும் இருக்கும். இவ்வகைக் கருவிகளில் பயன்படும் குளிர்விப்பான்களின் ஆவியாதலின் உளஞுறை வெப்பம் அதிகமாக இருக்கும். மேலும், அவை இயல்பான வெப்ப, அழுத்த நிலைகளில் ஆவி நிலையிலும் அழுத்தம் தரும்போது திரவமாகவும் மாறும் இயல்புடையன. அம்மோனியா, கந்தக டை ஆக்ஸைடு, கார்பன் டை ஆக்ஸைடு மற்றும் சிலவகை ஹைட்ரோ கார்பன்கள் (குறிப்பாக, டை குளோரோ டை புளூவார் மீதேன் (dichlorodifluomethane), பிரியான் (freon) போன்றவை) குளிர்விப்பான்களாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இவைகளைக் கொண்டு உருவாக்கப்படும் குளிர்பதனப் பெட்டிகள் இன்று பல வகையில் மனிதனுக்கு உதவுகின்றன. உயிர்காக்கும் மருந்துகள், உணவுப் பண்டங்கள், உணவுப் பொருட்கள், ஆகியவற்றைப் பாதுகாப்பதில் இவற்றின் பங்கு குறிப்பிடத்தக்கது.

314 சராசரி மோதலிடைத் தூரம் (Mean free path)

மூலக்கூறுகள் ஒவ்வொன்றும் வெவ்வேறு திசைகளில் வெவ்வேறு திசைவேகங்களுடன் ஒழுங்கற்ற முறையில் இயங்கி மூலக்கூறுகள் ஒன்றோடொன்றும், கொள்கலத்தின் சுவர்களுடனும் மோதிக் கொள்கின்றன. இவ்வாறு அடுத்தடுத்து ஏற்படும் இரண்டு மோதல்களுக்கு இடையே ஒரு மூலக்கூறு பயணம் செய்யும் சராசரித் தொலைவு அதன் சராசரி மோதலிடைத் தூரம் (mean free path) என்று வரையறுக்கப்படுகிறது. N மோதலுக்கு பிறகு ஒரு மூலக்கூறு பயணம் செய்யும் தூரம் S எனக் கொண்டால், அதன் சராசரி மோதலிடைத் தூரம் $\lambda = S/N$. நைட்ரஜன் வாயுவின் விட்டம் 3.50×10^{-8} செ.மீ. ஆகவும், ஆக்ஸிஜன் வாயுவின் விட்டம் 3.39×10^{-8} செ.மீ. ஆகவும், ஹைட்ரஜன் வாயுவின் விட்டம 2.47×10^{-8} செ.மீ. ஆகவும், ஹீலியம் வாயுவின் விட்டம் 2.18×10^{-8} செ.மீ. ஆகவும் இருக்கும்போது அவற்றின் சராசரி மோதலிடைத் தூரங்கள், 0.944×10^{-5} செ.மீ. எனவும், 0.999×10^{-5} செ.மீ. எனவும், 1.83×10^{-5} செ.மீ. எனவும், 2.85×10^{-5} செ.மீ. எனவும் முறையே கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. வாயுவின் விட்டமும் அதன் சராசரி மோதலிடைத் தூரமும் எதிர்தகவில் மாறுபடுகின்றன என்பது புலனாகிறது. மேலும், சராசரி மோதலிடைத் தூரம், வாயுவின் அடர்த்தி (density), வாயுவின் அழுத்தம், மற்றும் வாயுவின் சார்பிலா வெப்பநிலை ஆகியவற்றைப் பொறுத்துள்ளது என்பதும் தெளிவாகிறது.

315 சீபெக் விளைவு (Seebeck effect)

இது ஒரு வெப்ப மின்விளைவாகும். இதில் வெப்ப ஆற்றல் மின் ஆற்றலாக மாற்றப்படுகிறது. இரு வெவ்வேறு உலோகக் கம்பிகளின் முனைகளை இணைத்து அந்தச் சந்திகளை வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் வைத்தால் அச்சுற்றில் ஒரு மின்னியக்கு விசை தோன்றுகிறது. இதன் காரணமாக அச்சுற்றில் ஒரு மின்னோட்டம் பாய்கிறது என சீபெக் 1821–ல் கண்டறிந்தார். இதுவே சீபெக் விளைவு எனப்படுகிறது.

வெப்ப மின்னியக்குவிசையின் வலிமை, சந்திகளின் வெப்பநிலை வேறுபாடு, மற்றும் உலோகங்களின் தூயநிலை ஆகியவற்றைப் பொறுத்தது ஆகும். வெப்பமின் இரட்டையில் மின்னோட்டம் செல்லும் திசை எது என்பதனையும், ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலை மாறுபாட்டிற்கு எந்த வெப்ப மின் இரட்டை அதிக மின்னியக்கு விசையைத் தோற்றுவிக்கும் என்பதனையும் சீபெக் உலோக வெப்ப மின்வரிசை மூலம் கண்டறியலாம். Bi, Ni, Co, Pt, Cu, Mn, Hg, Pb, Sn, Cr, Mo, Au, Zn, Fe, As, Sb, Te என்பது சீபெக் வெப்பமின் வரிசையாகும்.

பிஸ்மத்–ஆன்டிமணி வெப்ப மின் இரட்டையில் மின்னோட்டமானது பிஸ்மத்திலிருந்து ஆன்டிமணிக்கு வெப்பச் சந்தி வழியாகச் செல்லும். அதாவது மின்னோட்டமானது சீபெக் வெப்ப மின்வரிசையில் முந்தியுள்ள உலோகத்திலிருந்து பிந்தியுள்ள உலோகத்திற்கு வெப்பச் சந்தி வழியாகச் செல்லும்.

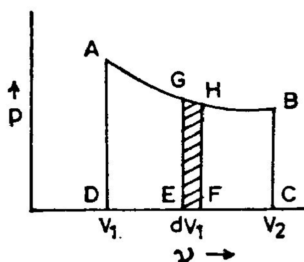
Sb - Bi, மற்றும், Cu - Fe வெப்ப மின் இரட்டைகள் தோற்றுவிக்கும் வெப்ப மின்னியக்கு விசைகளை ஒப்பிடும்பொழுது Sb - Bi வெப்ப மின் இரட்டை தோற்றுவிக்கும் வெப்ப மின்னியக்கு விசை அதிகம். அதாவது, வெப்ப மின் வரிசையில் இரண்டு உலோகங்கள் எவ்வளவுக்கெவ்வளவு அதிகமாக விலகியுள்ளனவோ அந்த அளவிற்கு வெப்ப மின்னியக்கு விசையும் அதிகமாகும். தூய உலோகங்களைத் தவிர உலோகக் கலவைகளைப் பயன்படுத்தியும் வெப்ப மின்னிரட்டைகளை அமைக்கலாம்.

316 சுட்டும் படம் (Indicator diagram)

ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையிலான இலக்கண வாயுவானது வெப்பநிலை மாறாமல் விரிவடையும்போது, செய்யப்படும் பணியின் அளவு $dw = p\,dv$ ஆகும். அப்போது அதன் பருமன் v_1லிருந்து v_2க்கு அதிகரிக்கும்போது, அழுத்தமும் மாறினால், மொத்தப் பணியின் அளவு $W = \int_{v_1}^{v_2} p\,dv$ ஆகும். ஆனால் $P = RT/v$, எனவே

$$W = RT\int_{v_1}^{v_2}\frac{dv}{v} = RT\log_e\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

இப்பணியைக் கணக்கிடுவதற்கான ஒரு மாற்று வழியே சுட்டுப் படத்தைப் பயன்படுத்துவது ஆகும்.



வெப்பநிலை மாறாதபோது, ஒரு வாயுவில் ஏற்படும் பருமன் மற்றும் அழுத்த மாற்றத்தினை, ஒரு pv வரைபடத்தில் வாயுவின் தொடக்கநிலை A–யிலிருந்து, இறுதி நிலை Bக்கு வரையப்படும் வளைகோட்டினால் உணர்த்தலாம். இப்படத்தினையே சுட்டுப்படம் என்கிறோம். படத்தில் EF எனும் இடைப்பட்ட ஒரு பருமப் பெருக்கம் dv–ஐக் கருதினால், அதற்கான பணியின் அளவு

pdv ஆகும். இது EFGH எனும் செவ்வகத்தின் பரப்பளவுக்குச் சமமாகும். வாயு A எனும் நிலையிலிருந்து, B எனும் நிலைக்கு மாறும்போது, செய்யப்படும் மொத்தப்பணியின் அளவு EFGH போன்ற செவ்வகங்களின் பரப்பளவின் கூட்டுத்தொகைக்கு சமமாகும். அதாவது, அந்தப் பணியின் மதிப்பு ABCD எனும் பரப்பளவால் கொடுக்கப்படும். எனவே, $W = \int_{v}^{2} pdv$ = ABCD-யின் பரப்பளவு. இது ஒரு வாயுவில் செய்யப்படும் பணியின் அளவை நேரடியாகக் கொடுக்கிறது.

317 சுழி நிலை ஆற்றல் (Zero point energy)

ஒரு கலத்திலுள்ள வாயுவை வெப்பம் பாயா (adiabatic) முறையில் தொடர்ந்து விரிவடையச் செய்யும்போது, அதன் வெப்பநிலை படிப்படியாகக் குறைந்துகொண்டே சென்று, மேலும் வெப்பம் குறைய முடியாத ஒரு நிலையை அடைகிறது. இந்த நிலையைக் குறிக்கும் வெப்ப மாறா (isothermal) கோட்டைச் சுழி வெப்பமாறாக் கோடு என்கிறோம். மேலும் இந்த வெப்பநிலையை தனிச் சுழி வெப்பநிலை என்றும் கூறுகிறோம். அடிப்படை இயக்கக் கொள்கையின்படி இந்த தனிச் சுழி வெப்பநிலையில் எல்லா மூலக்கூறு இயக்கங்களும் நின்றுவிட, அவை அமைதி நிலையை அடைகின்றன. எனவே இந்த வெப்பநிலையில் மூலக்கூறுகள் ஆற்றல் அனைத்தையும் இழந்து விடுகின்றன. ஆனால் தனிச்சுழி வெப்பநிலையில் மூலக்கூறுகள் ஆற்றல் முழுவதையும் இழந்து விடுவதில்லை; அவற்றில் குறிப்பிடத்தக்க ஆற்றல் எஞ்சியிருக்கிறது என்பதைத் திருத்தியமைக்கப்பட்ட அண்மைக் காலக் கொள்கைகள் கூறுகின்றன. தனிச்சுழி வெப்பநிலையில் மூலக் கூறுகளில் தங்கியிருக்கும் இவ்வாற்றலையே சுழிநிலை ஆற்றல் என்கிறோம்.

318 சூரிய நிறமாலை (Solar spectrum)

முன்னேற்பாடுகள் செய்யப்பட்ட ஒரு நிறமாலைமானியில் சூரிய ஒளியை விழச் செய்தால், அதில் ஊதாவிலிருந்து சிவப்பு வரையிலான ஒரு தொடர் நிறமாலை கிடைக்கிறது. இத் தொடர் நிறமாலையின் பின்னணியில் கருமையான உட்கவர் வரிகளைக் (absorption lines) காணலாம். இவ்வரிகளைப் பற்றிய முறையான ஆய்வை Fraunhoffer என்பவர் செய்ததால், இவ்வரிகள் அவர் பெயராலேயே அழைக்கப்படுகின்றன. இந்நிறமாலையில் 527 வரிகள் இருப்பதாகக் கண்டுபிடிக்கப் பட்டுள்ளது. இவற்றில் இன்றியமையாதவை A, B, C, D_1, D_2, E, b_1, b_2, F, G', G வரிகள் ஆகும். சூரியனின் மையப் பகுதி உயர் வெப்பநிலையில் ஒளிக் கோளமாகத் திகழ்வதால், அது ஒளியையும், வெப்பத்தையும் சீராக வெளியிடுகிறது. இவ்வொளிக் கோளத்தைச் சுற்றியுள்ள, அதைவிடக் குறைந்த வெப்பநிலையிலுள்ள வெளிக் கோளத்தை, இவ்வொளி கடக்கும்போது, அதிலுள்ள வாயுக்களும், ஆவிகளும் தாம் வெளியிடக் கூடிய அலைநீளங்களை சூரியனிலிருந்து வரும் இவ்வெள்ளொளியிலிருந்து உட்கவர்ந்து கொள்கின்றன. எனவே இவ்வெளிக் கோளத்தைத் தாண்டிவரும் சூரிய ஒளியில் சில அலை நீளங்களுக்கான இடங்களில் கருமை வரிகள் காணப்படுகின்றன. இக்கருமை வரிகளிலிருந்து வெளிக்கோளத்தில் இருக்கும் தனிமங்களைக் கண்டுபிடிக்கலாம். இம்முறையில், இக்கோளத்தில், ஆக்சிஜன், ஹைட்ரஜன், சோடியம், இரும்பு, மாங்கனீசியம் போன்ற தனிமங்கள் இருப்பது காணப்பட்டது.

319 சூரிய மாறிலி (Solar constant)

சூரியன், தனது குடும்பத்தில் ஒரு கோளாக இருக்கும் பூமியின் வாழ்க்கைக்குத் தேவையான வெப்ப ஆற்றலைக் கொடுக்கிறது. அது வெப்ப ஆற்றலைத் தொடர்ந்து கதிர்வீச்சாக நாற்புறமும் வெளியிட்டுக் கொண்டேயிருக்கிறது. அவ்வாற்றலில் ஒரு பகுதி எதிரொளித்தலிலும், வளி மண்டலத்தால் ஈர்த்தலிலும் செலவிடப்படுகிறது. இதையும்மீறி

பூமியை வந்தடையும் வெப்ப ஆற்றலின் சிறு பகுதியைக் கொண்டு, சூரியனின் வெப்பநிலையைக் கணக்கிடலாம். இக் கணக்கீட்டிற்கு, 'சூரிய மாறிலி'யைக் காணும் தேவையேற்படுகிறது. சூரியக் கதிர்வீச்சை பூமி ஏற்கும் வீதமே சூரிய மாறிலி எனப்படும். அதாவது, பூமியின் வளிமண்டலத்திற்கு வெளியே சூரியனிலிருந்து சராசரி தொலைவில், நடுப்பகலில், கதிர் வீச்சுக்குச் செங்குத்தாக வைக்கப்படும் ஓரலகு பரப்பளவுள்ள முழுதும் கருமையாக்கப்பட்ட பரப்பின்மீது ஒரு நொடியில் விழும் கதிர்வீச்சு ஆற்றலே சூரிய மாறிலி எனப்படும். இந்த சூரிய மாறிலியை பைர்கீலியோமானி (pyrheliometer) எனும் ஒரு வகை கதிர்வீச்சு மானியைக் கொண்டு அளக்கலாம். இம்மானிகளில் பல வகைகள் இருந்தாலும், அவற்றின் அடிப்படைத் தத்துவம் ஒன்றேயாகும். இவ்வாறு காணப்பட்ட சூரிய மாறிலியின் மதிப்பு 1.9 முதல் 2.6 கலோரி / ச. செ. மீ /நொடி வரை மாறுபடுகிறது.

320 திரவ வெப்பநிலைமானிகள் (Liquid thermometers)

வெப்பநிலை உயர்வால் திரவம் விரிவடைகிறது என்ற உண்மையை அடிப்படையாகக் கொண்டு திரவ வெப்பநிலைமானிகள் உருவாக்கப்படுகின்றன. பொதுவாக மெர்க்குரி, ஆல்கஹால் போன்ற திரவங்கள் திரவ வெப்பநிலை மானிகளில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. திடப்பொருட்களைப் போல் திரவங்கள் சீராக விரிவடைவதில்லை. அவை வெவ்வேறு வெப்பநிலை நெடுக்கங்களில் வெவ்வேறு அளவில் விரிவடைவதால் திரவ வெப்ப நிலைமானியின் இரு நிலைப் புள்ளிகளுக்கு இடைப்பட்ட பகுதியை ஒரு மின்தடை வெப்பநிலையின் துணை கொண்டு ஒப்பிட்டு அளவீடு செய்வர். திரவ வெப்பநிலைமானியைக் கொண்டு 0.05°C வரை துல்லியமாக அளக்கலாம். மெர்க்குரியின் உருகுநிலை -39°C–யாக இருப்பதால் பாதரச வெப்பநிலை–மானியை -30°C–க்கு கீழ் பயன்படுத்த முடியாது. ஆல்கஹால் -130°C வரை திரவமாக இருப்பதால், ஆல்கஹால் வெப்பநிலைமானியை -100°C வரை பயன்படுத்தலாம். திரவ வெப்பநிலைமானிகள் கையாளுவதற்கு எளிதாக இருப்பதாலும், நேரடி அளவீட்டைக் காட்டும் வகையில் இருப்பதாலும் அவை பெருமளவில் நடைமுறையில் உள்ளன.

321 நிலைமாறு மாறிலிகள் (Critical constants)

வாயுக்களின் அழுத்தத்திற்கும், பருமனுக்கும் உள்ள தொடர்பைக் காட்டும் மாறா வெப்பநிலைக் கோட்டில் உள்ள நிலைமாறு புள்ளியில் (critical point) அதன் அழுத்தம் மற்றும் பருமன் ஆகியவை நிலைமாறு அழுத்தம் (criticalpressure) மற்றும் நிலைமாறு பருமன் (criticalvolume) என்று அழைக்கப்படுகின்றன. வாயுக்கள் ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலைக்குக் குறைவாக இருக்கும்போது அழுத்தத்தை செலுத்துவதன் மூலம் அவைகளைத் திரவமாக்கலாம். அந்தக் குறிப்பிட்ட வெப்பநிலைக்கு நிலைமாறு வெப்ப நிலை (critical temperature) என்று பெயர். இந்த நிலைமாறு வெப்பநிலை (critical temperature), நிலைமாறு அழுத்தம், நிலைமாறு பருமன் (critical volume) ஆகியவையே நிலைமாறு மாறிலிகள் (critical constants) என்று அழைக்கப்படுகின்றன. இந்த நிலைமாறு மாறிலிகள் வான் டெர் வால்ஸ் மாறிலிகளில் கீழ்க்கண்ட சமன்பாடுகளின் மூலம் வரையறுக்கப்படுகின்றன.

நிலைமாறு பருமன் $V_c = 3b$

நிலைமாறு அழுத்தம் $P_c = \frac{a}{27b^2}$

நிலைமாறு வெப்பநிலை $T_c = \frac{8a}{27Rb}$

a, b வான் டெர் வால்ஸ் மாறிலிகள். R வாயுவின் மாறிலி.

322 நிலைமாறு வெப்பநிலை (Critical temperature)

ஒரு வாயுவை அழுத்தத்தினால் திரவமாக்கத் தேவையான, வெப்பநிலை உச்ச எல்லை. வாயுக்களைப் பொருத்தவரை அவற்றின் அழுத்தத்தில் மிகச்சிறு மாறுதல் ஏற்படினும் அவற்றின் பருமனில் குறிப்பிடத்தக்க வகையில் மாற்றம் ஏற்படுவதை அறியலாம். இவ்வாறு வாயுக்களின் பருமனில் அழுத்தத்தால் ஏற்படும் மாற்றத்தை ஆராய்ந்தால் ஒவ்வொரு பொருளுக்கும் நிலைமாறும் (critical state) எல்லை ஒன்றிருப்பதைக் காணலாம். இதை ஆண்ட்ரூஸ் என்பவர் கண்டறிந்தார். இந்த எல்லைக்குரிய வெப்ப நிலையை விட உயர்ந்த வெப்பநிலையில் இருக்கும்பொழுது எவ்வளவு உயர்ந்த அழுத்த மிகுதிப்பாட்டிற்கும் வாயு திரவமாவதில்லை. மாறாக, நிலைமாறு வெப்பநிலையைவிடக் குறைந்த வெப்பநிலையில் வாயுக்கள் திரவமாக மாறுவதை காணலாம். ஆகவே வாயுக்கள் ஒவ்வொன்றும் அதன் நிலைமாறு வெப்பநிலைக்கு குறைவில் இருக்கும்போது, அழுத்த மிகுதிப்பாட்டினால் திரவமாகலாம். ஒவ்வொரு வாயுக்கும் மாறுநிலை வெப்பநிலை வெவ்வேறாக இருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, ஆக்ஸிஜனுக்கு -118.8°C எனவும், நைட்ரஜனுக்கு -147.1°C எனவும், ஹைட்ரஜனுக்கு -240°C எனவும் நிலைமாறு வெப்பநிலைகள் கணக்கிடப்பட்டுள்ளன. மேலும் நிலைமாறு வெப்பநிலையில் ஆவிச் செறிவும் (vapour density) திரவமும் சமமாகக் காணப்படுகின்றன என்றும், ஆவிக்கும் திரவத்திற்கும் இடையேயுள்ள எல்லைக்கோடு (boundary line) மறைகிறது என்றும் ஆய்வின் வழி கண்டு கொள்ளப்பட்டிருக்கிறது.

323 பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானி (Platinum resistance thermometer)

ஓர் உலோகக் கம்பியின் மின்தடை வெப்பநிலையைப் பொறுத்து மாறுபடும் என்ற உண்மையை அடிப்படையாகக் கொண்டு மின்தடை வெப்பநிலைமானி செயல்படுகிறது. பிளாட்டினம் உயர்ந்த உருகு நிலையைப் பெற்றிருப்பதாலும், வெப்பநிலையோடு அதன் மின்தடை சீராக மாறுவதாலும் மின்தடை வெப்பநிலைமானியில் பிளாட்டினம் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

மைக்கா சட்டத்தின்மீது சுற்றப்பட்ட பிளாட்டினக் கம்பிச்சுருள் ஒரு கண்ணாடிக் குமிழினுள் வைக்கப்பட்டு அதனுடைய இரு முனைகள், மின்தடை காணப் பயன்படும் வீட்ஸ்டோன் சமனச்சுற்றின் ஒரு புயத்தில் இணைக்கப்பட்டிருக்கும். அதோடு தொடர்பு கொண்டிருக்கிற பொருளின் வெப்பநிலையை $R_t = a + bt + ct^2$ என்ற சமன்பாட்டின் மூலம் காணலாம். இதில் a, b, c மாறிலிகளாகும். வெப்பநிலை t°C –ஆக இருக்கும்பொழுது மின்தடை R_t ஆகும். பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை, நீரின் கொதிநிலை, மற்றும் கந்தகத்தின் உருகுநிலையில் மின்தடை மதிப்புகளைக் கணக்கிட்டு மாறிலிகளின் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

இக்கருவியின் மூலம் -200°C முதல் 1200°C வரையிலான வெப்பநிலைகளை அளக்கலாம். விரைந்து மாறுபட்டுக் கொண்டிருக்கும் வெப்பநிலைகளை அளவிட இந்த வெபபநிலைமானி பயன்படாது. ஏனென்றால் பிளாட்டினக் கம்பிச்சுருள், பொருளின் வெப்பநிலையை உடனே அடைவதில்லை.

324 பெர்மி வாயுவும் போஸ் வாயுவும் (Fermi gas and Bose gas)

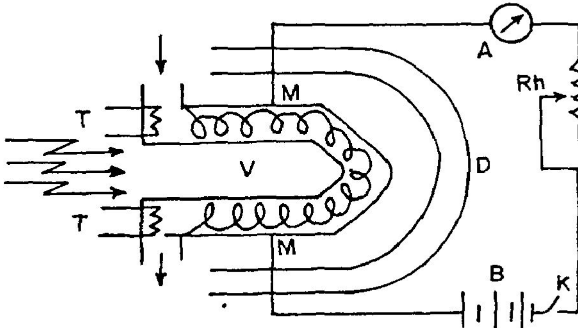
ஒரே குவாண்டம் நிலையில் இரு துகள்கள் இருக்க முடியாது என்ற பௌலியின் தவிர்க்கைக் கொள்கையைப் பின்பற்றும் துகள்கள் ஃபெர்மியான்கள் (Fermion) எனப்படும். தற்சுழற்சி மதிப்பு 1/2 கொண்ட எல்லா அடிப்படை துகள்களும் ஃபெர்மியான்கள் ஆகும். எடுத்துக்காட்டாக எலக்ட்ரான்கள் இவ்வகையைச் சார்ந்தவை.

தனிச்சுழி வெப்பநிலையில் இவற்றின் பெரும ஆற்றல் ஃபெர்மி ஆற்றல் எனப்படும். பெர்மி–டிராக் பங்கீட்டு விதிக்கு இவை உட்பட்டவை. இத்தகைய துகள்களின் தொகுதி ஒரு வாயு போலச் செயற்படும். அது ஃபெர்மி வாயு எனப்படும். எலக்ட்ரான் வாயு இத்தகையது. உலோகம் ஒன்றில் தன்னிச்சை எலக்ட்ரான்கள் வாயுபோல அமையும். எல்லா வெப்பநிலைகளிலும், தாழ்ந்த ஆற்றல் மட்டங்கள் முழுமையாக எலக்ட்ரான்களால் நிரப்பப்பட்டு இருக்கும். உயர்ந்த ஆற்றல் மட்டங்கள் எலக்ட்ரான்களால் பகுதி நிரப்பப்பட்டு இருக்கும். ஃபெர்மி ஆற்றல் (E_F) மதிப்பு ஒவ்வொரு உலோகத்திற்கும் ஒவ்வொரு நிலையில் இருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, வெள்ளிக்கு இதன் மதிப்பு $9x10^{-19}$ ஜூல் ஆகும்.

வேறுபடுத்தமுடியாத, ஒத்த துகள்கள் பல பௌலியின் தவிர்க்கைக் கொள்கையை பின்பற்றுவதில்லை எனக்கொள்வோம். அதாவது ஒரு குவாண்டம் நிலையில் எத்தனை துகள்கள் வேண்டுமானாலும் இருக்கலாம். இத்தகைய நிலையில் உள்ள துகள்கள் 'போசான்கள்' எனப்படும். போஸ்–ஐன்ஸ்டீன் பங்கீட்டு விதிக்கு இவை உட்படும். மெசான்கள், ஹீலியம் உட்கரு ஆகியவை இத்தகைய துகள்கள் ஆகும். மின்காந்தக் கதிர்வீச்சை ஒரு போட்டான் வாயு எனக்கருதி, அத்தகைய போஸ் வாயுவை விளக்க இப்பங்கீட்டு விதியைப் பயன்படுத்தலாம். கதிர்வீசலுக்கான பிளாங்கின் விதி இவ்வாயுவிற்குப் பொருந்தும்.

325 பைரோஹீலியோமானி (Pyroheliometer)

சூரிய மாறிலியை அளவிடப் பயன்படுவது. இது நீர் பாயும், நீர் கலக்கும் மானி என இரு வகைப்படும். இதில் கூம்புவடிவ அடிமுனையுடைய இரட்டைச் சுவர் உருளைப் பாத்திரம் V உள்ளது. இதன் உட்பக்கம் கருமையாக்கப்பட்டுள்ளது. கூம்புப் பகுதியில் மின்னோட்டத்தைச் செலுத்த மாங்கனின் கம்பிச் சுருள் MM பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இப் பாத்திரம் தேவார் குடுவை (Dewar's flask) D-யினுள் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இக்கூம்புப் பாத்திரத்தினுள் நீரானது சீரான வேகத்தில் செலுத்தப்படுகிறது. சூரியனின் வெப்பக் கதிர்வீச்சு இதனுள் செங்குத்தாக விழும்படி செய்யப்படுகிறது. இந்த வெப்பம் முழுதும் ஈர்க்கப்பட்டு, பாயும் நீரைச் சூடேற்றுகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்திற்குப் பிறகு உட்புகும் மற்றும் வெளியேறும் நீரின் வெப்பநிலைகள் இரு பிளாட்டினம் வெப்ப நிலைமானிகளைப் பயன் படுத்தி அளக்கப் படுகின்றன. பிறகு ஒரு தடையைப் பயன்படுத்தி, கதிர்வீச்சு முழுவதையும் நிறுத்தி விட்டு, மின் கலத்தின் உதவியால் தகுந்த J எனும் மின் னோட்டத்தை, E எனும் மின்னழுத்தத்தில் செலுத்தி, முன்பிருந்த அதே வெப்பநிலை வேறுபாடு ஏற்படுத்தப்படுகிறது. கூம்புப் பாத்திரம் ஏற்கும் சூரிய வெப்பத்தின் அளவு EJ ஜூல்களாகும். பாத்திரத்தின் குறுக்குப் பரப்பு A-ஐ அளந்து, சூரிய மாறிலியை கணக்கிடலாம்.



326 பொது வாயு மாறிலி (Universal gas constant)

ஓர் இலட்சிய வாயுவானது Boyle, Charles விதிகளை முழுமையாகக் கடைப்பிடிக்கிறது. ஆனால் இயற்கை வாயுக்கள் அவற்றைத் தோராயமாகவே கடைப்பிடிக்கின்றன. ஒரு இலக்கண வாயுவுக்கு இவ்விதிகள் இரண்டையும் இணைத்து

PV=RT எனும் வாயுச் சமன்பாட்டை எழுதலாம். இதில் R என்பது வாயு மாறிலி எனப்படும். இவ்வாயு மாறிலியானது எடுத்துக் கொண்ட வாயுவின் நிறையைப் பொருத்து மாறக் கூடியது. ஒரு கிராம் – மூலக்கூறு வாயுவைக் கருதினால், இம் மாறிலியை Ru எனக் குறிக்கிறோம். இதனையே பொது வாயு மாறிலி என்கிறோம். இந்தப் பொது வாயு மாறிலி எல்லா வாயுக்களுக்கும் சமமாக இருக்கக் காணலாம். ஏனெனில் அவகாட்ரோ கொள்கை (Avogadro's hypothesis)யின்படி, வெப்பநிலையும், அழுத்தமும் மாறாதபோது, எல்லா வாயுக்களின் ஒரு கிராம்–மூலக்கூறு பருமன் (gram-molecular volume) சமமாக இருக்கும். படித்தர வெப்பநிலை–அழுத்தத்தில் (NTP) எந்தவொரு வாயுவிற்கும் ஒரு கிராம்–மூலக்கூறு பருமன் 22.4 லிட்டராகும். Ru = 8308 ஜூல்/K/கிலோகிராம் மூலக்கூறு. வாயுவின் நிறையை n மடங்காக்கினால், அதன் பருமனும், அழுத்தமும் n மடங்காகும். எனவே அதன் வாயுச் சமன்பாட்டை PV = nRT என எழுதலாம். இங்கு n என்பது வாயுவின் கிராம்–மூலக்கூறின் எண்ணிக்கையைக் குறிக்கும்.

327 போஸ்–ஐன்ஸ்டின் புள்ளியியல் (Bose-Einstein statistics)

ஒத்த வடிவமும், இனங் காண முடியாததும், தவிர்ப்புக் கொள்கைக்கு உட்படாததுமான துகள்களைக் கொண்ட ஓர் அமைப்புக்கு இந்தப் புள்ளியியல் பொருந்தும். இந்த அமைப்பில் ஒரு குவாண்டம் நிலையில் இருக்கும் துகள்களின் எண்ணிக்கைக்கு வரம்பில்லை. இவ்வகைத் துகள்களை போசான்கள் (Bosons) என்கிறோம். இப்புள்ளியியலிலும் குவாண்டம் நிலைகள் மட்டுமே கணக்கில் கொள்ளப்படுகின்றன. இது ஒளித்துகள் (photon) மற்றும் α துகள்களுக்கு பொருந்தும் புள்ளியியலாகும். உயர் வெப்பநிலைகளில் இதுவும் மேக்சுவெல்–போல்ட்சுமான் புள்ளியியலை ஒத்திருக்கும். இப்புள்ளியியல் உள்ள இணங்காணும் வழிகள்

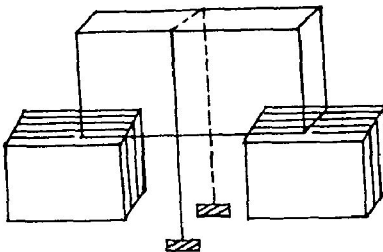
$$P = \pi_i \left(\frac{(n_i + g_i - 1)!}{n_i!\,(g_i - 1)!} \right)$$

ஆகும். இதில் சுழி வெப்ப நிலையில் துகள்களின் ஆற்றல் சுழி எனக் கருதுகிறோம். இதில் E_i ஆற்றல் நிலையிலுள்ள துகள்களின் எண்ணிக்கை

$$n_i = \frac{g_i}{e^{\alpha + \beta E_i - 1}}$$ ஆகும்.

328 மறுஉறைதல் (Regelation)

பனிக்கட்டியின் உறையும் நிலை அழுத்தம் மிகுதியால் ஏற்படும் விளைவு. பனிக்கட்டி உருகும்நிலையை அழுத்த மிகுதியால் குறைக்கலாம் என்பதை ஒரு சோதனைமூலம் நிரூபிக்கலாம். ஒரு கம்பியின் இரு முனைகளிலும் இரண்டு எடைகளை (ஒவ்வொன்றும் சுமார் 5 கிலோ கிராம்) பொருத்தி, பனிக்கட்டியின் மேல்பாகத்தில் படத்தில் காட்டியபடி தொங்க விடலாம். பனிக்கட்டி வழியாகக் கம்பி செல்லும்போது, கம்பியின் கீழ்பாகத்தில் உள்ள பனிக்கட்டி அழுத்த மிகுதியால் குறைந்த வெப்பநிலையில் உருகுகிறது. கம்பியின் மேல்பாகத்தில் உள்ள தண்ணீர் மீண்டும் உறைகிறது. இவ்வாறாகக் கம்பி பனிக்கட்டியைக் கடக்கும்பொழுது பனிக் கட்டி இரண்டாகப் பிரிவதில்லை. இதைத்தான் மறுஉறைதல் தோற்றப்பாடு



(regelation phenomenon) என அழைக்கிறோம். எடுத்துக்காட்டாக, குளிர்ந்த தேசங்களில் தண்ணீர் பனிக்கட்டியாக உறையும்போது தண்ணீர்க் குழாய்கள் வெடித்துச் சேதம் உண்டாகிறது. மேலும் வண்டிச் சக்கரங்கள் வெண்பனியில் (snow) செல்லும்போது அழுத்த மிகுதியால் அது உருகுகிறது. வண்டிச் சக்கரங்களில் உள்ள தண்ணீர் மறுபடியும் பனிக்கட்டியாக உறைகிறது. இந்தக் கொள்கையின் அடிப்படையில்தான் பனிச் சறுக்கல் (skating) போன்ற விளையாட்டுகள் நடைபெற வாய்ப்பு ஏற்படுகிறது.

329 **மாக்சுவெல்–போல்ட்சுமான் புள்ளியியல்** (Maxwell-Boltzmann statistics)

ஒத்த வடிவமும், ஆனால் அடையாளங் காணக் கூடியதுமான துகள்கள் ஓர் அமைப்பில் அதிக எண்ணிக்கையில் இருப்பதாகக் கருதுவோம். அத்துகள்களின் ஆற்றல் வெவ்வேறாக இருக்கட்டும். எல்லாத் துகள்களும், எல்லா ஆற்றல்களையும் பெறமுடியும் எனவும் கொள்வோம். இச் சூழலில் பல்வேறு ஆற்றல் மட்டங்களுக்கும் இத்துகள்கள் எவ்வாறு பகிர்ந்தளிக்கப்படுகின்றன என்பதையே மாக்சுவெல்–போல்ட்சுமான் புள்ளியியல் கூறுகிறது. இப்புள்ளியியல் இலக்கண வாயுக்களுக்கு மட்டுமே பொருந்தக் கூடியது. இப்புள்ளியியலின்படி தனிச் சுழி வெப்பநிலையில் துகள்களின் ஆற்றல் சுழி எனக் கருதுகிறோம். இதில் துகள்கள் மட்டுமே கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ளப்படுகின்றனவே ஒழிய அவற்றின் குவாண்டம் நிலைகள் அல்ல. இதில் துகளின் நிலையின் பருமன் அறுபரிமாணச் சூழிடத்தில் தெரியாது. துகள்களை அடையாளங் கண்டறியத் தக்க வழிகள்

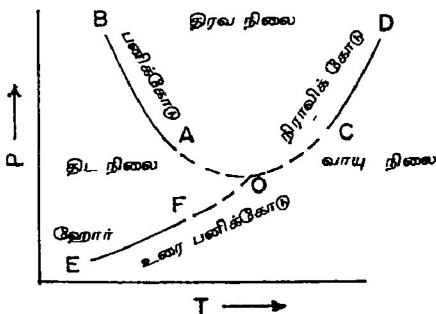
$$P = \pi_i \left(\frac{g_i^{n_i}}{n_i!} \right) \text{ ஆகும்.}$$

மேலும் E_i எனும் ஆற்றல் மட்டத்திலுள்ள துகள்களின் எண்ணிக்கை

$$n_i = \frac{g_i}{e^{\alpha + \beta E_i}} \text{ ஆகும்.}$$

330 **முப்புள்ளி** (Triple point)

குறிப்பிட்ட அழுத்தத்தில், ஒரு பொருள் திட, திரவ, வாயு என்ற மூன்று நிலைகளிலும் சமநிலை அடையும் வெப்பநிலை. நீர், நீர்மமாகவும், நீராவியாகவும், பனிக்கட்டியாகவும் இருப்பதை அறிந்திருப்பீர்கள். அதன் கொதிநிலையையும், உறை நிலையையும் வெப்பநிலை, அழுத்தம் என்ற இரு காரணிகள் கொண்டு மாற்றியமைக்க இயலும். இதனை ஒரு படத்தின் மூலம் விளக்கலாம்.



படத்தில் AB என்ற பனிக்கோட்டின் இடப்புறம் நீர் பனிக்கட்டி நிலையிலும் வலப்புறம் திரவ நிலையிலும் இருக்க AB ஒரு சமனிக்கோடாக (equilibrium) அமைகின்றது. அழுத்தம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க பனிக்கட்டி குறைந்த வெப்ப–நிலையிலேயே உருகும் நிலையை அடைவதை அறியலாம். அதேபோல் CD என்ற நீராவிச் சமனிக்கோட்டின் மேற்புறம் திரவ நிலையிலும் கீழ்ப்புறம் வாயு நிலையிலும் நீர் இருக்கின்றது. அழுத்தம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க நீரின் கொதிநிலையும் அதிகரிக்கின்றது. இதனால் தான் பூமியின் உயர் பகுதிகளில் நீரின்

கொதிநிலை குறைகின்றது. மேலும் ஒரு திடப்பொருள் திரவமாக மாறாமலேயே வாயுநிலையை அடையவும் கூடும். கற்பூரம் எரிந்து ஆவியாவதை இதற்குச் சான்றாகக் காட்டலாம். இந்நிலையை ஹோர் உறைபனி நிலைக்கோடு EF காட்டுகின்றது. மேற்கூறிய மூவகைக் கோடுகளையும் நீட்டினால் அவை ஒரு புள்ளியில் சந்திக்கின்றன. அப்புள்ளி முப்புள்ளி எனப்படும். அப்புள்ளியை விட்டுச் சிறிது விலகினாலும் நீர் திட திரவ வாயுநிலையை அடையும். எனவே முப்புள்ளியில் இம்மூன்று நிலைகளும் அவையல்லாத நிலையுமாக அமைவதால் அது சிறப்புப் பெறுகின்றது.

331 மோல், கிலோ மோல் (Mole and Kilomole)

ஒரு தனிமத்தின் அணுவின் நிறையைக் காண கார்பன்-12 அணுவின் நிறையை நியமமாகக் கொள்கிறோம். அதாவது ஒரு தனிமத்தின் அணுவின் நிறையானது, அதன் நிறைக்கும், கார்பன் அணுவின் நிறையில் 12ல் ஒரு பங்கிற்கும் உள்ள தகவு ஆகும். அவ்வாறே ஒரு சேர்மத்தின் மூலக்கூறு நிறை என்பது ஒரு மூலக்கூறுநிறைக்கும், கார்பன் அணுவின் நிறையில் 12ல் ஒரு பங்கிற்கும் உள்ள தகவு ஆகும்.

$$\text{ஒரு சேர்மத்தின் மூலக்கூறு நிறை} = \frac{\text{சேர்மத்தின் ஒரு மூலக்கூறு நிறை}}{1/12\ (\text{கார்பனின் அணு நிறை})}$$

ஒப்பு மூலக்கூறு நிறை அலகில்லா ஒரு வெற்று எண்ணாகும். ஆனால் மூலக்கூறு நிறை என்பது 'கிராம் மோல்' அல்லது 'கிலோ கிராம் மோல்' என்னும் அலகுகளில் குறிப்பிடப்படுகிறது. இவைகளையே முறையே மோல் எனவும் கிலோ மோல் எனவும் சுருக்கமாகக் கூறுகிறோம்.

332 வாயு வெப்பநிலைமானிகள் (Gas thermometers)

வெப்பநிலை மாறும்பொழுது வாயுவின் அழுத்தம் அல்லது பருமன் மாறுபடுகிறது. இந்த உண்மையை அடிப்படையாக கொண்டு வாயு வெப்பநிலை மானிகள் செயல்படுகின்றன. தூயநிலையில் வாயுக்கள் கிடைப்பதாலும், அவை வெப்பநிலையுடன் சீராக விரிவதாலும், மெர்க்குரியைவிட அதிக விரிவினைப் பெற்றிருப்பதாலும், வாயு வெப்ப நிலைமானிகள் திரவ வெப்பநிலைமானிகளைவிடத் துல்லியமானவை. ஹைட்ரஜன், நைட்ரஜன், ஹீலியம் போன்ற வாயுப் பொருட்கள் வாயு வெப்ப நிலைமானிகளில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. வாயுக்களுக்கு அழுத்த விரிவெண்ணும் பரும விரிவு எண்ணும் சமமாக இருப்பதால், வெவ்வேறு வெப்ப நிலைமானிகள் காட்டும் வெப்பநிலை அளவுகள் ஒத்திருக்கின்றன. அதனால் வாயு வெப்பநிலைமானிகளைப் படித்தர (standard) வெப்பநிலைமானிகளாகப் பயன் படுத்துகின்றனர்.

பருமன்மாறா வாயு வெப்பநிலைமானி, அழுத்தம்மாறா வாயு வெப்பநிலைமானியை விட மேலானது. மெர்க்குரி வெப்பநிலைமானிபோல் நேரடி அளவீட்டைத் தரும் கருவியாக வாயு வெப்பநிலைமானி அமையாது. தகுந்த வாயு, மற்றும் கொள்கலத்தைப் பயன்படுத்தினால் -200°C முதல் 1600°C வரை வாயு வெப்பநிலைமானி செயல்படும்.

333 வான் டெர் வால்ஸ் சமன்பாடு (van der Waals equation)

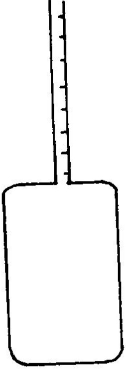
PV = RT என்பது குறிக்கோள் வாயு சமன்பாடு. இங்கு P = அழுத்தம், V = பருமன், T = வெப்ப நிலை, R = வாயு மாறிலி. ஆண்ட்ரூஸ், ஆமகாட் சோதனைகளிலிருந்து

அநேகமாக எல்லா மெய்வாயுக்களுமே குறிக்கோள் வாயுச்சமன்பாட்டிலிருந்து முரண்படுகின்றன என்று தெரிகிறது. குறைகளை நீக்கிப் பொருத்தமான ஒரு சமன்பாட்டை ஏற்படுத்தப் பல அறிவியலாளர்கள் தனித்தனியே முயன்றனர். அதன்பயனாகப் பல சமன்பாடுகள் தோற்றுவிக்கப்பட்டன. அவற்றுள் மிகவும் எளிதானதும், பயன்படுவதுமான சமன்பாடு வான்டர் வால்ஸ் என்பவரால் உருவாக்கப்பட்டது. இயக்கவியற் கொள்கையின் அடிப்படையில் குறிக்கோள் வாயுவின் அழுத்தத்திற்கான எண்ணுருக்கோவையை வழிப்படுத்தும்பொழுது, மூலக்கூறுகள் புள்ளிகளாகக் கருதப்பட்டன. மேலும் குறிப்பிட்ட குறிக்கோள் வாயுவின் மூலக்கூறுகளுக்கிடையே எவ்வித ஈர்ப்புவிசையும் செயற்படுவதில்லை என்றும் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டது. வாயுவின் அழுத்தத்திலும் வெப்ப நிலையிலும் மிக அதிகமான மாறுதல்கள் விளையும்பொழுது இவ்விரண்டு எடுகோள்களுமே ஏற்றுக் கொள்ளத்தக்கதல்ல என்று வான் டெர் வால்ஸ் சரியான முறையில் விவாதித்து, இதற்கான திருத்தங்களைக் கணக்கிட்டு குறிக்கோள் வாயுச் சமன்பாட்டைத் திருத்தியமைத்தார்.

$(P + (a/V^2))\ (V - b) = RT$ என்பதே வான் டெர் வால்ஸ் சமன்பாடாகும். இவற்றில் a, b என்பவை வான்டர் வால்ஸ் மாறிலிகளாகும். குறிப்பிட்ட அழுத்தத்தில், வாயுவின் மூலக்கூறுகள் b பருமன் கொண்டிருக்கும். அவற்றினிடையே அமையும் ஈர்ப்பு a/V^2 உள்ளீட்ட அழுத்தம் (internal pressure) தரும் என்று இதற்குப் பொருள்.

334 விரிவடைமானி (Dilatometer)

நீரைச் சூடேற்றும்போது, அது வியப்பான முறையில் விரிவடைகிறது. வெப்ப நிலை 0°C யிலிருந்து 4°C வரை உயரும்போது நீர் விரிவடையாமல் சுருங்குகிறது. அதற்குமேல் வெப்பநிலை உயரும்போது, அது விரிவடைகிறது. ஆனால் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் வெவ்வேறு அளவுகளில் விரிவடைகிறது. இந்த உண்மையை விளக்கப் பயன்படுவதே விரிவடைமானியாகும்.



அளவீடு செய்யப்பட்ட நுண்புழைக் காம்பை (capillary stem) கொண்ட ஒரு குடுவையைக் கொண்டது இக் கருவி. இதன் வெப்பநிலை மாறும்போது பருமன் மாறாமல் இருக்க, இக்குடுவை சிலிகா அல்லது குவார்ட்ஸினால் செய்யப்படும். கண்ணாடிக் குடுவையெனில், அதன் விரிவடைதலை ஈடுகட்ட, அதில் ஏழில் ஒரு பங்கு பாதரசம் நிரப்பப்பட்டிருக்கும். காற்றுக் குமிழ்களேதும் இல்லாமல் காம்பின் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவீடு வரை நீரால் நிரப்பப் பட்டு, பனிக்கட்டியும், நீரும் கலந்த ஒரு தொட்டியில் அது வைக்கப்படுகிறது. தொட்டியின் நீரைச் சூடேற்றி பல்வேறு வெப்ப நிலைகளில் காம்பின் நீர்ப்பகுதியின் அளவீடுகளை அளந்து, நீரின் விரிவடைவெண் கணக்கிடப்படுகிறது.

நீரானது 0°C-யிலிருந்து 4°C-வரை சுருங்கி, பிறகு 4°C-யிலிருந்து 8°C வரை விரிவடைந்து, 8°C-யில் அது 0°C-யிலிருந்த தொடக்கப் பருமனை அடைகிறது. அதற்கு மேலும் வெப்பநிலை உயரும்போது 20°C முதல் 40°C வரையிலான நெடுக்கத்தில் தொடக்க விரிவெண்ணைப்போல் 6 மடங்கும், 60°C முதல் 80°C வரையிலான நெடுக்கத்தில் 10 மடங்கிலுமான விரிவெண்களைப் பெறுகிறது.

335 வெப்ப அயனி வெளியீடு (Thermionic emission)

உலோகங்களில் கட்டற்ற (free) எலக்ட்ரான்கள் தன்னிச்சையாக இயங்கும் வாயு மூலக்கூறுகளைப் போன்று அழுத்தத்தைத் தருகின்றன. ஆனால் உலோகப் பரப்பின்

மீதுள்ள ஈர்ப்புவிசைகளால் இந்த எலக்ட்ரான்கள் உலோகப் பரப்பிலிருந்து தப்பி வெளியேற இயலாது. ஏனெனில் இந்த ஈர்ப்புவிசைகள் எலக்ட்ரான் வாயுவின் அழுத்தத்தைவிட அதிகம். உலோகப் பரப்பினை விட்டு எலக்ட்ரான்கள் வெளியேறச் செய்யவேண்டிய வேலை அப்பரப்பின் வேலைச் சார்பம் (work function) எனப்படும். இது உலோகங்களுக்குள் வேறுபடும். குறைந்த வெப்பநிலைகளில் எலக்ட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றல் வேலைச் சார்பத்தைவிடக் குறைவாக இருப்பதால் எலக்ட்ரான்கள் பரப்பிலிருந்து வெளியேற இயலாது. உலோகங்கள் வெப்பப் படுத்தப்படும்போது, எலக்ட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றல் அதிகரிப்பதால் அவை உலோகப் பரப்பை விட்டு வெளியேறுகின்றன. இந்நிகழ்வு வெப்ப அயனி வெளியீடு எனப்படும். உலோகத்தின் வெப்பநிலை T K (கெல்வின்) எனில், வெப்ப அயனி மின்னோட்டம் $I = AT^2e^{(-\varphi_0/KT)}$ என்ற ரிச்சர்ட்சன் சமன்பாட்டினால் தரப்படுகிறது. இதில் A என்பது மாறிலி. φ_0 என்பது 0K வெப்பநிலையில் உலோகப் பரப்பின் வேலைச் சார்பம். டங்ஸ்டன், தோரியம் சேர்க்கப்பட்ட டங்ஸ்டன், ஆக்சைடு பூசப்பட்ட பேரியம், ஸ்ட்ரான்சியம் போன்றவை சிறந்த வெப்ப அயனி வெளியீட்டு உலோகங்களாகும்.

336 வெப்ப அளவியல் (Calorimetry)

ஒரு பொருள் ஏற்றுக்கொண்ட அல்லது இழந்த வெப்பத்தை அளவிடுவது பற்றி விவரித்துக் கூறுவது வெப்ப அளவியல் ஆகும். ஒரு பொருள் வெப்பத்தை இழக்கும் பொழுது அதனைச் சுற்றியுள்ள பொருட்கள் அந்த வெப்பத்தை ஏற்றுக்கொள்கின்றன. வெப்பப் பரிமாற்றம் ஏற்படுகிறதே தவிர வெப்பம் அழிக்கப்படுவதில்லை. இந்த வெப்ப அழிவின்மையை அடிப்படையாக வைத்து வெப்பத்தை அளவீடு செய்வர். வெப்பநிலை மாற்றத்தைப் பயன்படுத்தி வெப்பத்தின் அளவைக் கணக்கிடலாம். கலவை முறை, குளிர்தல் முறை, மின்னோட்ட முறை ஆகிய முறைகளில் இது செய்யப்படுகிறது. நிலைமாற்றத்தைப் பயன்படுத்தியும் வெப்பத்தின் அளவை மதிப்பீடு செய்யலாம். பனிக்கட்டி உருகுதல், நீராவி உறைதல் ஆகியன இதற்குப் பயன்படும். வெப்பத்தை மெட்ரிக் முறையில் கலோரி, கிலோ கலோரி என்ற அலகுகள் கொண்டு அளவிடுவர். SI அலகு முறையில் வெப்பத்தின் அலகு ஜூல் எனப்படும். 1 கலோரி = 4.186 ஜூல்கள். ஒரு கிராம் நிறையுள்ள நீரின் வெப்பநிலையை 14.5°C–யிலிருந்து 15.5°C–க்கு உயர்த்தத் தேவையான வெப்பத்தின் அளவு ஒரு கலோரியாகும்.

337 வெப்ப இயக்கவியல் மின்னழுத்தமும் கிப்ஸ் சார்பங்களும் (Thermodynamic potential and Gibb's functions)

ஒரு வெப்ப இயக்கவியல் அமைப்பின் கிப்ஸ் சார்பம் என்பது $G = U - TS + PV$ ஆகும். இங்கு U என்பது அதன் உள்ளாற்றல்; T என்பது வெப்ப நிலை; S என்பது என்ட்ரபி; P, V என்பவை அழுத்தம், பருமன்; வோல்டா மின்கலத்தில் P & V என்ற புறவேலைகளைத் தவிர வேறுவடிவங்களிலும் வேலை செய்யப்படுகிறது. அது செய்யும் மின்வேலை -Edl ஆகும். அதேபோன்று காந்தப்பொருள் செய்யும் காந்தவேலை = mdH; எனவே புற எந்திரவேலை என்பது, P, E, m இவற்றுடன் dV, dl, dH போன்ற பருமதிப்புகளின் பெருக்கற்பலனின் கூடுதல் ஆகும். வோல்ட்டா மின்கலத்திற்கு இம்மதிப்பு Edl ஆகும். பொதுவாக $\delta W = PdV + Ydx$ என எழுதலாம்.

$$W = \int_{V_1}^{V_2} PdV + \int_{x_1}^{x_2} ydx$$

$$\int_{x_1}^{x_2} ydx = A$$

ஆகும். வெப்பநிலை, அழுத்தங்கள் மாறாமல் இருக்கும்போது,

$$A \leq (U_1 - U_2) - T(S_1 - S_2) + P(V_1 - V_2)$$

$$A \leq (G_1 - G_2).$$

எனவே ஒரு நிகழ்வில் வெப்பநிலை அழுத்தம் மாறாமல் இருக்கும்போது, ஒற்றை வெப்ப மூலத்தில் வெப்பத்தை மாற்றிக் கொண்டால், அந்நிகழ்வில் PdV புறவேலையைத் தவிர செய்யும் வேறுவிதமான வேலையின் பெரும மதிப்பு அவற்றின் கிப்ஸ் சார்ப வேறுபாட்டிற்குச் சமம். நிகழ்வு நேர் எதிர்பண்புள்ளதாய் இருப்பின் செய்யும்வேலை, பெரும மதிப்புடையது. நேர் எதிர்பண்பற்றதாய் இருப்பின் செய்யும்வேலை, பெரும மதிப்பைவிடக் குறைவு.

338 வெப்ப எண் (Specific heat)

ஒரு பொருளைச் சூடாக்கும்போது அது வெப்பத்தை ஏற்றுக் கொள்கிறது. இதன் காரணமாக அதன் வெப்பநிலை உயர்கிறது. ஒரு பொருள் எந்த அளவுக்கு வெப்பத்தை ஏற்றுக் கொள்ளும் என்பதை 'வெப்ப எண்' விவரிக்கிறது. ஒரு கிலோ கிராம் நிறையுள்ள ஒரு பொருளின் வெப்பநிலையை ஒரு கெல்வின் (1K) உயர்த்தச் செய்யப்படும் வேலை (அல்லது) தேவையான வெப்ப ஆற்றல் வெப்ப எண் எனப்படும். இதன் அலகு ஜூல் / கிலோ கிராம் / கெல்வின் ஆகும். திடப்பொருட்களின் வெப்ப எண், அணு எடை இவற்றின் பெருக்குத் தொகை ஒரு மாறிலியாகும். இதனை டுலாங் – பெட்டிட் விதி என்பர். பொதுவாக வெப்பநிலை உயர்வால் திடப்பொருட்களின் வெப்ப எண் அதிகரிக்கும். தாழ் வெப்பநிலைகளில் வெப்ப எண் வெப்ப நிலையின் மும்மடிக்கு நேர்தகவில் இருக்கும். ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையுடைய வாயுவைப் பருமன்மாறா நிலையிலும், அழுத்தம்மாறா நிலையிலும் வெப்பப்படுத்தலாம். இதனால் வாயுக்களுக்கு இரண்டு வெப்ப எண்கள் உண்டு. இவை முறையே பருமன்மாறா வெப்ப எண் (C_V), அழுத்தம்மாறா வெப்ப எண் (C_p) எனப்படும். இந்த இரு வெப்ப எண்களுக்கும் இடையே உள்ள வேறுபாடு ஒரு மாறிலியாகும். நீரின் வெப்ப எண் மற்றெல்லாப் பொருட்களின் வெப்ப எண்களையும் விட அதிகமாக இருக்கும்.

339 வெப்பக் கடத்தல் (Conduction)

பொதுவாக வெப்பம் ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோர் இடத்திற்கு மூன்று முறைகளில் பரவுகிறது. அவை வெப்பக் கடத்தல் (conduction), வெப்பச்சலனம்(convection), வெப்பக் கதிர் வீச்சு (radiation).

உயர்ந்த வெப்பநிலையிலுள்ள பகுதியிலிருந்து குறைந்த வெப்பநிலையிலுள்ள பகுதிக்குப் பொருளின் ஊடே வெப்பம் பாய்வதை வெப்பக் கடத்தல் என்று கூறுகிறோம். பொருளிலுள்ள கட்டிலடங்கா எலக்ட்ரான்களின் இயக்கத்தால் வெப்பக் கடத்தல் நிகழ்கிறது. திட, திரவ, வாயுப் பொருட்கள், அனைத்துமே வெப்பம் கடத்தும் பண்பைப் பெற்றிருக்கின்றன. இருப்பினும் திட நிலையில் கடத்துதிறன் மற்ற நிலைகளின் கடத்துதிறன்களையும்விட அதிகமாக இருக்கிறது. மேலும் உலோகங்கள் மிக அதிகக் கடத்துதிறனைப் பெற்றிருப்பது குறிப்பிடத் தக்கது.

வெப்பத்தின் அளவான Q கலோரிகள், வெப்பம் பாயும் நேரத்திற்கு t நேர்தகவிலிருப்பதுடன், பக்கத்தின் பரப்பிற்கு நேர்தகவிலும், முனைகளுக் கிடையேயுள்ள

வெப்பநிலை வேறு பாட்டிற்கும் நேர்தகவில் இருக்கும். அத்துடன் தண்டின் நீளத்திற்கு எதிர்தகவிலும் இருக்கும்.

$$\text{அதாவது, } Q \propto \frac{A(\theta_1 - \theta_2)t}{l}$$

$$Q = \frac{KA(\theta_1 - \theta_2)t}{l}$$

K என்ற மாறிலி, வெப்பக் கடத்து திறன் எனப்படும்.

340 **வெப்பக் கதிர்வீசல்** (Radiation)

வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளிலுள்ள பொருட்களுக்கிடையே உள்ள ஊடகத்தில் ஏற்படும் ஒருவகையான வழி முறையில் ஊடகத்தை சூடேற்றாமல் சூடான பொருளிலிருந்து குளிர்ந்த பொருளுக்கு வெப்பம் பாய்தல் வெப்பக் கதிர்வீசல் எனப்படுகிறது. இக்கதிர்வீச்சால் தாக்கப்படும் பொருட்கள் இவ்வாற்றலை உட்கொண்டு வெப்பநிலை உயர்வை அடைகின்றன.

வெப்பக் கதிர்வீச்சு ஏறத்தாழ ஒலியின் இயல்புகளையே பெற்றுள்ளது. சூரிய உதயத்தின்போது சூரியனிடமிருந்து ஒளியும் வெப்பமும் ஒரே சமயத்தில் பூமியை அடைகின்றன. அதே போன்று சூரிய மறைவின் போதும் ஒளியும் வெப்பமும் ஒரே சமயத்தில் நீக்கப்படுகின்றன. இதிலிருந்து இவ்விரண்டு ஆற்றல்களும் வெற்றிடத்திலும் செல்ல வேண்டுமென்பது தெளிவாகிறது. மேலும், வெப்பக்கதிர், ஒளிக்கதிர் போன்றே நேர்கோடாக அமைகிறது. ஒளியைப் போன்றே வெப்பக் கதிரும் எதிரொளிக்கப் படுகிறது. விலகல் அடைகிறது. வெப்பக் கதிர் வீச்சின் செறிவு எதிர் தகவு இருமடி விதிப்படி (inverse square law) குறைகிறது. ஒளியைப் போன்று வெப்பக் கதிரும் அலை வடிவத்தில் பரவுகின்றது. அதன் காரணமாக, குறுக்கீட்டு விளைவு (interference), தளவிளைவு (polarisation) ஆகியவற்றைத் தோற்றுவிக்கிறது. வீச்சு வெப்பம் (thermal radiation) ஒளியின் இயல்புகளிலிருந்து அதன் அலைநீளத்திலும், உண்டாக்கும் விளைவுகளிலும் தான் மாறுபட்டுள்ளது. அதாவது, ஒளியின் அலைநீளம் 4000 Å அலகுகளிலிருந்து 8000 Å அலகுகள் வரை மாறும்பொழுது வீசு வெப்பத்தின் அலைநீளம் 8000 Å அலகுகளாகும். எனவே வீசுவெப்பமும் புற சிவப்புப் பகுதியும் (infra red) ஒன்றேயாகும்.

341 **வெப்பக் கடத்துதிறன்** (Thermal conductivity)

வெபபக் கடத்தல் என்பது பொருட்களின் ஒரு முக்கிய பண்பாகும். வெப்பக் கடத்துதிறன் பொருளுக்குப் பொருள் வேறுபடும்.

ஒரு படிகத் திண்மத்தின் வெப்பநிலை உயரும்போது அதன் அணிக்கோவை அதிர்வியக்கமும், பெருமளவில் உள்ள கடத்துகை எலக்ட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றலும் அதிகரிக்கின்றன. எனவே, திண்மத்திற்கு அளிக்கப்படும் வெப்ப ஆற்றலின் வாயிலாக திண்மத்தின் அக ஆற்றல் உயர்ந்து அணிக்கோவை அதிர்வியக்கத்தாலும் கடத்துகை எலக்ட்ரான்களாலும் வெப்பக் கடத்தல் நிகழ்கிறது.

ஓர் உலோகக் கம்பியின் ஒருமுனையை நிலையான வெப்பநிலையில் வைத்து, மறுமுனையைச் சூடேற்றி அதை வெப்பநிலைச் சரிவிற்கு உட்படுத்தினால், அதன் ஊடே வெப்பம் கடத்தப்படுகிறது. கடத்தியின் ஓரலகு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பில் ஒரு வினாடியில் பாயும் வெப்ப ஆற்றல் பாயம் (flux) j_v எனில், $j_v = -K((dT)/(dX))$ என்பதற்குச் சமமாகும்.

இங்கு K என்பது வெப்பக் கடத்துதிறன், (dT/dX) என்பது வெப்பநிலைச் சரிவு. எதிர்குறி கடத்தியில் வெப்பநிலை குறைவான திசையில் வெப்ப ஆற்றல் கடத்தப்படுகிறது என்பதைக் குறிக்கிறது. j_V–இன் அலகு வாட்/ச.மீ. என்றும் வெப்பநிலைச் சரிவின் அலகு டிகிரி கெல்வின்/மீ. என்றுமிருப்பின், K–இன் அலகு வாட். மீ.$^{-1}$ டிகிரி$^{-1}$ என்றாகும்.

வெப்பம் பரவக் காரணமான போனான்கள் (Phonons) படிகத் திண்மத்தின் ஒரு முன்னயிலிருந்து எளிதாக நேரே அடுத்த முனைக்கு நேர்பாதைகளில் செல்லாமல் தொடர்ந்து மோதல்களுக்குட்படுகின்றன. போனான்களின் சராசரி மோதலிடைத் தொலைவின் (l) மதிப்பை போனான்–போனான் இடைவினை (interaction), புள்ளிக் குறைபாடுகளினால் (point imperfections) நிகழும் சிதறல்கள், படிக முடிவு எல்லைகளினால் (boundaries) ஏற்படும் சிதறல்கள் ஆகியன கட்டுப்படுத்துகின்றன.

வாயுக்களின் இயக்கவியற் கொள்கையிலிருந்து K=(1/3) cvl எனப் பெறலாம். இங்கு C அலகு பருமனின் வெப்பக் கொள்ளளவையும், v துகளின் சராசரி திசைவேகத்தையும், l சராசரி மோதலிடைத் தொலைவையும் குறிக்கின்றன. திண்மங்களில் வெப்பக் கடத்தல் அணிக்கோவை அதிர்வியக்கத்தாலும், கடத்துகை எலக்ட்ரான்களாலும் நடைபெறுகிறது. காப்பான்களில் வெப்பக் கடத்தல் அணிக்கோவை அதிர்வியக்கத்தால் நடைபெறுகிறது. உலோகங்களில் அணிக்கோவை அதிர்வியக்கக் கடத்தல் தள்ளிவிடும் அளவிற்குக் குறைந்து விடுவதால், இங்கு வெப்பக் கடத்தலின் பெருமளவு கடத்துகை எலக்ட்ரான்களால் நிகழ்கிறது. எனவே காப்பான்களில் வெப்பக் கடத்துதிறன் மிகக் குறைந்தும் உலோகங்களில் அதிகரித்தும் இருக்கிறது.

342 **வெப்பச் சலனம்** (Convection)

ஊடகத்தின் சூடான துகள்கள் தமது இயக்கத்தால் வெப்பத்தைப் பரப்பும் முறை வெப்பச்சலனமாகும். திரவ மற்றும் வாயு நிலையிலுள்ள பொருட்களில் (பாய பொருட்களில்) வெப்பம் பரவும் முறை இதுவேயாகும்.

வெப்பச்சலனம் முறையை இயல்பு வெப்பச்சலனம் (natural convection), திணிப்பு வெப்பச்சலனம் (forced convection) என இரு வகைப்படுத்தலாம்.

அசைவற்ற நிலையான திரவத்தில் முதல் வகை வெப்பச்சலனம் நிகழ்கிறது. ஒரு மூடிய அறையில் காற்று குளிர்வதை இதற்குச் சான்றாகக் கூறலாம். திறந்த சன்னல் வழியாகத் தொடர்ந்து காற்றை செலுத்திக் குளிர்விப்பதை இரண்டாவது வகைக்குச் சான்றாகக் கூறலாம்.

இயல்பு வெப்பச் சலனமானது ஈர்ப்பு விசையினால், அதாவது, துகள்களின் எடையில் விளைவதாகும். சூடான பொருளைத் தொடும் துகள்கள் விரிந்து எடை குறைவுற்று மேலே உயர்கின்றன. அப்பொழுது மேலுள்ள குளிர்ந்த அதனால் எடைமிக்க துகள்கள் கீழிறங்கிச் சூடடைந்து மேலேறுகின்றன. இங்ஙனம் செங்குத்துத் தளத்தில் ஏற்படுத்தப்படும் துகள்களின் இயக்கத்தால் வெப்பம் இம்முறையில் பரவுகிறது. இந்நிகழ் முறையில்தான் இயற்கையில் காற்று வீசலும், காற்றோட்டமும் ஏற்படுகின்றன. கடற்காற்றும் நிலக் காற்றும் வீசுகின்றன. மேலும் கானல் நீர் இந்நிகழ்வினால் தான் ஏற்படுகிறது.

343 வெப்பமாற்றீடற்ற காந்தநீக்க முறை (Adiabatic demagnetisation)

இது 1K வெப்ப நிலைக்குக் கீழ் மிகக்குறைந்த வெப்பநிலையைப் பெறும் முறையாகும். கடோலினியம் சல்பேட் போன்ற பாரா காந்தப் பொருட்கள் புறகாந்தப் புலத்தால் காந்தமாக்கப்படும்போது அவற்றின் மூலக்கூறுகள் காந்தப்புலத்தின் திசையில் திரும்புவதால் அவற்றின் வெப்பநிலை உயரும். கொடுக்கப்படும் காந்தப்புலம் திடீரென நீக்கப்பட்டால் மூலக்கூறுகள் வெவ்வேறு திசைகளில் திரும்புவதால் வெப்பநிலை குறையும். இந்த நிகழ்வு வெப்பமாற்றீடற்ற காந்த நீக்க விளைவு எனப்படும். இம்முறையில் குறைந்த வெப்பநிலையைப் பெறலாம். பாராகாந்தப் பொருள் ஒரு கொள்கலத்தில் தொங்க விடப்படடு, அது குறைந்த அழுத்தத்தில் கொதிக்கும் திரவ ஹீலியத்தால் சூழப்பட்டுள்ளது. அதனைச் சுற்றித் திரவ ஹைட்ரஜன் உள்ள கலம் அமைக்கப்பட்டு, 30,000 காஸ் வலிமையுள்ள காந்தப்புலம் தரப்படுகிறது. இதனால் ஏற்படும் வெப்பத்தை ஹீலியம் வாயு கடத்தி விடும். பின்னர் ஹீலியம் வாயு நீக்கப்பட்டு பொருள் தனிமைப்படுத்தப் படுகிறது. இப்போது காந்தப்புலம் திடீரென நீக்கப்பட்டால் பொருளின் வெப்பநிலை 0.25K வரை குறைகிறது. இம்முறையில் இரும்பு–அமோனியம், பொட்டாஸ்–குரோம் கலவை பயன்படுத்தப்பட்டால் வெப்பநிலையை 0.0034K வரை குறைக்கலாம். குறைந்த வெப்பநிலையை பொருளின் காந்த ஏற்புத்திறனை அளவிடுவதால் அளக்க இயலும்.

344 வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வு (Adiabatic process)

வாயுவானது சுற்றுப்புறத்துடன் வெப்பத்தைப் பகிர்ந்து கொள்ளாமல் தனது அழுத்தம், பருமன் ஆகிய பண்புகளில் மாறுதல் பெற்றால், அத்தகைய மாற்றம் வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வு எனப்படும். இந்நிகழ்வு ஏற்பட வெப்ப இயக்க அமைப்பு, சுற்றுப் புறத்திலிருந்து தனிமைப்படுத்தப்பட வேண்டும். வெப்ப மாற்றீடற்ற விரிவின்போது வெப்பநிலை குறைகிறது. வெப்ப மாற்றீடற்ற அழுத்தத்தின்போது வெப்பநிலை அதிகரிக்கிறது. வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்கான சமன்பாடு: PV^{γ} = மாறிலி. இதில் γ என்பது அழுத்தமமாறா வெப்ப எண்ணுக்கும் (C_p), பருமன்மாறா வெப்ப எண்ணுக்கும் (C_v) உள்ள தகவு. வெபபமாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்கு உட்படுத்தப்பட்ட வாயுவின் அழுத்தம், பருமம் ஆகியவறறுக்கிடையேயுள்ள தொடர்பினை ஒரு வரைபடத்தில் வரைந்து கிடைக்கும் கோட்டினை வெப்பமாற்றீடற்றகோடு என அழைப்பர். வெப்பமாற்றீடற்ற கோட்டின் சரிவுக்கும, சமவெப்ப நிலைக் கோட்டின் சரிவுக்கும் இடையில் உள்ள தகவு, வாயுக்களின் வெப்ப எண்களின் தகவுக்குச் சமம்.

நீராவிப் பொறி உருளையில் உள்ள நீராவியின் பெருக்கம், மிதி வண்டியில் உள்ள இரப்பர் குழாய் திடீரென வெடித்தல் போன்றவை வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்கான சான்றுகளாம.

345 வெப்ப மின்னிரட்டை அடுக்கு (Thermopile)

இரண்டு வெவ்வேறு உலோகங்களிலான சுற்றின் இரு சந்திகள் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் இருககும்போது அதில் மின்னியக்கு விசை (e.m.f.) ஏற்படுகிறது. இதற்கு சீபெக் விளைவு (Seebeck effect) என்று பெயர். இவ்வமைப்பிற்கு வெப்ப மின்னிரட்டை (thermocouple) என்று பெயர். இத்தத்துவத்தின் அடிப்படையில் பல வெப்ப மின்னிரட்டைகளைத் தொடரிணைப்பில் சேர்த்து வெப்பக்கதிர்வீச்சை (thermal radiation) அளக்கலாம். இவ்வமைப்பிற்கு வெப்ப மின்னிரட்டை அடுக்கு (thermopile) என்று பெயர். இதனை முதன் முதலில் மெலோனி என்பவர் உருவாக்கினார். இவ்வித அடுக்கில் பொதுவாகக் காப்பிடப்பட்ட ஆண்டிமணி (Sb), பிஸ்மத் (Bi) ஆகிய உலோகங்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஒன்று விட்ட சந்திகள் ஒரு தளத்தில் இருக்குமாறு

அமைக்கப்பட்டு கருமையாக்கப்படுகின்றன. இதன்மேல் வெப்பக் கதிர்வீச்சு விழச்செய்யப்படுகின்றன. வெப்ப மின்னிரட்டை அடுக்கின் முனைகள் ஒரு நுட்பம் வாய்ந்த கால்வனாமீட்டருடன் G இணைக்கப்பட்டுள்ளது. கருமையாக்கப்பட்ட சந்திகளின் மேல் விழும் கதிர்வீச்சின் செறிவிற் கேற்றவாறு கால்வனா மீட்டரின் குறிமுள் விலக்கமடையும். இதன்மூலம் வெப்பக் கதிர்வீச்சின் செறிவைக் கணக்கிடலாம்.

346 **வெப்ப விரிவு** (Thermal expansion)

வெப்பப்படுத்தும்பொழுது பொருட்கள் விரிவடைகின்றன என்பதை வெப்பவிரிவு என்கிறோம். தனிவெப்ப நிலையில் வெப்பத்தினால் பொருட்களில் உள்ள அணுக்களின் இயக்கம் நிறுத்தப்பட்டுவிடுகின்றது. ஒரு பொருளை வெப்பப்படுத்தும் பொழுது அந்தப் பொருளிலுள்ள அணுக்கள் தம் சமநிலை இடத்திலிருந்து (d_e) அலைவுறுகின்றன. இதை நிலையாற்றலுக்கும், அணுக்களுக்கும் இடையேயான பிரிதல் தூரத்திற்கும் வரைந்த படத்தைக் கொண்டு எளிதில் விளக்கலாம். வெப்பநிலை T_1இல் அணுவின் சிறும, பெரும இடைவெளித் தூரங்கள் முறையே d_a, d_b எனில், சராசரி அணு இடைவெளித் தூரம் d_e ஆகும். நிலையாற்றல் வளைவு (curve) சமச்சீ ரற்று இருப்பதால் வெப்பம் அதிகமாக அதிகமாகச் சராசரி அணு இடைவெளித் தூரம் அதிகமாகிறது. பொருட்களும் விரிவடைகின்றன.

பொருட்கள் நீளத்தில் வெப்பத்தினால் விரிவடைவதால் அது நீள வெப்ப விரிவு எனப்படும். பொதுவாக, கனசதுரப் படிகங்களில் வெப்ப விரிவடை எல்லாத் திசைகளிலும் ஒரே சீராக இருக்கும். வேறு சில இயலமைப்புக் கொண்ட படிகங்களில் வெப்ப விரிவடைக் கெழு படிக அமைப்பாய் திசைகளுக்கேற்ப வேறுபடுகின்றன.

347 **வெப்பநிலை அளவியல்** (Thermometry)

வெப்பநிலையை அளவிடுதல் பற்றி விவரித்துக் கூறுவது வெப்ப நிலை அளவியல் ஆகும். ஒரு பொருளின் வெப்ப நிலையை அளவிடப் பயன்படும் கருவி வெப்பநிலைமானி எனப்படும். ஒரு பொருளின் சில இயற்பியல் பண்புகள் வெப்ப நிலையைப் பொறுத்து மாறுபாடுவதை அடிப்படையாகக் கொண்டு வெப்பநிலைமானிகள் உருவாக்கப்படுகின்றன. ஒரு திரவத்தின் பருமன் வெப்பநிலையைப் பொறுத்து மாறுபடும் பண்பை அடிப்படையாக வைத்துத் திரவ வெப்பநிலைமானிகள் உருவாக்கப்படுகின்றன. ஓர் உலோகத்தின் மின்தடை, வெப்பநிலையைப் பொறுத்து மாறுபடும் என்பதை அடிப்படையாகக் கொண்டு மின்தடை வெப்பநிலைமானிகளும், வெப்பநிலையைப் பொறுத்து அழுத்தம் அல்லது பருமன் மாறுபடும் என்பதை அடிப்படையாகக் கொண்டு வாயு வெப்பநிலைமானிகளும் உருவாக்கப்படுகின்றன.

வெப்பநிலைமானியை அளவுக் குறிப்பீடுகள் செய்ய நிலைப்புள்ளிகள் (Fixed points) தேர்ந்தெடுக்கப்பட வேண்டும். பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை, நீரின் கொதிநிலை, வெள்ளியின் உருகுநிலை, கந்தகத்தின் கொதிநிலை ஆகியன நிலைப் புள்ளிகளுக்கு எடுத்துக்காட்டுகளாம். தேர்ந்தெடுக்கப்பட்ட இரு நிலைப் புள்ளிகளுக்கு இடையே உள்ள பகுதி சமக் கூறுகளாகப் பிரிக்கப்பட்டு வெப்பநிலை அளவுகோல் உருவாக்கப்படுகிறது. வெப்பநிலைமானியில் பயன்படுத்தப்படும் பொருளின் வெப்ப ஏற்புத் திறன் மிகக் குறைவானதாயும் அது ஒரு நல்ல வெப்பக் கடத்தியாகவும் இருக்க வேண்டும். வெப்பநிலை மாறும்போது அதன் குறிப்பிட்ட ஒரு பண்பு சீராக மாறுவதாயிருக்க வேண்டும்.

348 **வெப்பநிலை காப்பான்** (Thermostat)

ஓர் அமைப்பின் வெப்பநிலையை நிலையாக வைத்துக் கொள்ள உதவும் ஒரு கருவி வெப்பநிலை காப்பான் ஆகும். வெப்பநிலை மாற்றம் நிகழாமல் இருக்க வேண்டுமானால் அதனோடு தொடர்புடைய வெப்பமூலத்தைக் கட்டுப்படுத்த வேண்டும். உலோக வகை வெப்பநிலை காப்பானில் எஃகு மற்றும் வெண்கலம் உபயோகப்படுத்தப்படுகிறது. வெவ்வேறு உலோகங்கள் வெவ்வேறு விரிவினைப் பெற்றிருக்கின்றன என்ற உண்மையை அடிப்படையாகக் கொண்டு இது செயல்படுகிறது. எஃகு, வெண்கலம் ஆகியவற்றாலான சிறு பட்டைகளைச் சேர்த்துப் பொருத்தி ஒன்றாக்கி அதனை வெப்ப மூலம் அடங்கிய மின்சுற்றில் தொடு சாவியாகப் பயன்படுத்துவர். வெப்பநிலை உயரும்பொழுது அந்த உலோகக் கூட்டு வளைந்து மின் இணைப்பைத் துண்டித்துவிடும். வெப்பநிலை குறையும்பொழுது உலோகத் தொகுப்பு எதிர்த் திசையில் வளைந்து மீண்டும் மின் இணைப்பை ஏற்படுத்தும். இச்செயலால் வெப்ப மூலத்தைக் கட்டுப்படுத்தி அமைப்பின் வெப்பநிலையை நிலைப்படுத்தலாம்.

திரவவகை வெப்பநிலைக் காப்பானில் டாலுயின், ஆல்கஹால் போன்ற உயர் விரிவெண்ணுடைய திரவங்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. வெப்பநிலை உயரும்பொழுது அதற்குத் தகுந்தாற்போல் திரவம் விரிவடைந்து, வெப்ப மூலத்திற்குச் செல்லும் எரிபொருள் வழங்கலைக் கட்டுப்படுத்தும் விதமாக அமைக்கபட்டிருக்கும். இவ்வாறு அமைப்பின் வெப்பநிலை மாறாமல் பார்த்துக் கொள்ளப்படுகிறது.

349 **வெப்பநிலைமாறா நிகழ்வு** (Isothermal process)

வெப்பநிலை மாறாமல் வாயு ஒன்றின் அழுத்தம் அல்லது பருமன் ஆகியமற்றில் மாற்றம் ஏற்பட்டால் அத்தகைய மாற்றம் வெப்பநிலைமாறா நிகழ்வு எனப்படும். வெப்பநிலை மாறா நிகழ்வு ஏற்பட வெப்ப இயக்க அமைப்பு சுற்றுப்புறத்துடன் முழுமையான தொடர்பினைப் பெற்றிருக்க வேண்டும். மேலும் நிகழ்வு மெதுவாக நடைபெற வேண்டும். வெப்ப இயக்க அமைப்பில் வெப்பநிலைமாறாச் சுருக்கத்தின்போது தோற்றுவிக்கப்படும் வெப்பம் உடனடியாகச் சுற்றுப்புறத்திற்குக் கடத்தப்பட்டுவிடும். இதனால் வெபப இயக்க அமைப்பின் வெப்பநிலை மாறாது. அதேபோல வெப்பநிலைமாறா விரிவின்போது குறையும் வெப்பத்தை அது சுற்றுப்புறத்திலிருந்து உட்கவர்ந்து வெப்பநிலை மாறாமல் வைத்துக் கொள்கிறது. வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்விலுள்ள மீட்சிக் கெழுவிற்கும், வெப்பநிலை மாறா நிகழ்விலுள்ள மீட்சிக் கெழுவிற்கும் இடையில் உள்ள தகவு வாயுக்களின் வெப்ப எண்களின் தகவுக்குச் சமம்.

350 **ஹீலியம் I, ஹீலியம் II** (Helium I, Helium II)

திரவ ஹீலியத்தின் வெப்பநிலை குறைக்கப்படும்போது அதன் அடர்த்தி 2.19K வெப்பநிலைவரை அதிகரித்து, பின்னர் வெப்பநிலையுடன் அடர்த்தி குறைகிறது. அதாவது 2.19K வெப்பநிலைக்குக் கீழ் விரிவடையத் தொடங்குகிறது. 2.19K வெப்பநிலையில் அதன் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன் மிக அதிகமாக உள்ளது. தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன், வெப்பநிலை இவற்றை இணைக்கும் வளைகோடு கிரேக்க எழுத்து λ போன்று இருபபதால் அது λ புள்ளி எனப்படும். 2.19K வெப்பநிலைக்கு மேல் அது திரவ ஹீலியம் I எனவும், அதற்குக் கீழ் திரவ ஹீலியம் II எனவும் அழைக்கப்படுகிறது. திரவ ஹீலியம I இயல்பான பண்புகளையும், திரவ ஹீலியம் II முரண்பாடான பண்புகளையும் பெற்றிருக்கும். ஹீலியம் II–வின் வெப்பம் கடத்தும்திறன் மிக அதிகம். அதன் பாகுநிலை எண் ஏறத்தாழச் சுழியாகும். ஆதலால் ஹீலியம் II நுண்புழைக் குழாய்களின் வழியே எளிதாகச் செல்ல இயலும். இவ்வாறு மிகச் சிறிய துவாரங்கள் வழியே பாகுநிலை

விசையின்றி ஓடும் பண்பு மீப்பாகியல் (superfluidity) எனப்படும். திரவ ஹீலியம் திடப் பரப்புகளின் மீது 10^{-6} செ.மீ. தடிமனுள்ள மெல்லிய படலத்தை உருவாக்குவதால் மீப்பாய்திறன் ஏற்படுகிறது. மேலும் ஹீலியம் II அதிக ஆவியாதல் வெப்பமு ம், குறைந்த பரப்பு விசையும் கொண்டது. ஹீலியம் II–இன் அதிகமான தன்வெப்ப ஏற்புத்திறனுக்குக் காரணம், வெப்பநிலை குறையும்போது என்ட்ரபி விரைவாகக் குறைவதேயாகும்.

351 ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸ் சார்பம் (Helmholtz function)

ஓர் அமைப்பின் வெப்ப இயக்கவியல் சார்பம் ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் சார்பம் ஆகும். ஒரு பொருளின் உள் ஆற்றல் U, வெப்ப நிலை T, என்ட்ரபி S எனில் அதன் ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் சார்பம் F=U-TS ஆகும். வெப்ப எந்திரங்கள் வெப்ப ஆற்றலை இயந்திர ஆற்றலாக மாற்றும்போது δH வெப்ப ஆற்றலும், δW புறவேலையும் என்றால்

$$\delta H = dU + \delta W$$
$$\delta W = \delta H - dU$$

ஆகும். எனில்,, δH வெப்பம் கொடுக்கப்படுவதால், அந்த அமைப்பின் உள்ளாற்றல் dU அளவு குறைகிறது. ஒரு அமைப்பின் என்ட்ரபி அதிகரிப்பு dS, சுற்றுப்புறத்தின் என்ட்ரபி அதிகரிப்பு dS_0, அதன் வெப்பநிலை T_0 எனில் என்ட்ரபி அதிகரித்தல் தத்துவப்படி $dS + dS_0 \geq 0$

ஆனால் $$dS_0 = -\frac{\delta H}{T_0}$$
$$dS - \frac{\delta H}{T_0} \geq 0$$

எனவே, $$\delta W \leq T_0 dS - dU.$$

இருநிலைகளை எடுத்துக்கொண்டால்,

$$W \leq T_0 (S_2 - S_1) - (U_2 - U_1)$$

$$W \leq (U_1 - U_2) - T_0(S_1 - S_2)$$

$T_0 \sim T$ என எழுதினால்,

$$W \leq (U_1 - TS_1) - (U_2 - TS_2)$$

$$W \leq (F_1 - F_2)_T$$

எனவே ஓரே வெப்பநிலையில் சமநிலையில் உள்ள இரு நிகழ்வுகளுக்கிடையே செய்யப்படும் பெருமவேலை, அந்நிகழ்வில் ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் சார்பக் குறைவுக்குச் சமம்.

மின்னியலும் காந்தவியலும்
Electricity and Magnetism

352 **அலை வழிநடத்திகள்** (Wave guides)

மின்காந்த அலைகளை ஒரு குறிப்பிட்ட பாதையில் செல்லும்படி கட்டுப்படுத்துகிற அல்லது வழிநடத்துகிற சாதனங்கள் அலை வழிநடத்திகள் எனப்படுகின்றன. அலை செல்லுகின்ற திசை அலைசெலுத்திகளின் அமைப்பைப் பொறுத்து அமையும். இயல்பாக இணையான இரண்டு மின்கடத்திக் கம்பிகள், ஓரச்சு மின்கடத்தி வடங்கள் ஆகியவற்றையும் அலை வழிநடத்திகளாகக் குறிப்பிடலாம். ஆனால் அலை வழி நடத்தி என்று குறிப்பிடுகிற சாதனம் ஒரு உலோகக் குழாயாகவே இருக்கும். அது தன்னுள்ளே மின்காந்த அலைகளைக் கட்டுப்படுத்தித் தனது நீளவாக்கு அச்சின்வழியாக அவற்றை ஓடச் செய்யும். உலோகக் குழாயின் பரிமாணங்களுக்குச் சமமான அல்லது அவற்றைவிடக் குறைவான அலை நீளங்களை உடைய மின்காந்த அலைகளை இவ்வாறு செலுத்த முடிகிறது. உள்ளீடற்ற குழல்களைத் தவிர மெல்லிய கம்பி, ஒரு தரைத் தளத்திலிருந்து குறிப்பிட்ட இடைவெளியில் பொருத்தப்பட்ட தட்டையான மின்கடத்தித் தகடு, மின்கடவாத் தண்டு ஆகிய வடிவங்களிலும் அலை செலுத்திகள் உருவாக்கப்பட்டுள்ளன. அலை செலுத்துக் குழல்கள் செவ்வகமான அல்லது வட்டமான குறுக்குப் பரப்புகளுடன் அமைக்கப்படுகின்றன. அவை செம்பு அல்லது பித்தளையால் செய்யப்படும். அலைகளை 90 பாகையில் திருப்புதல், 90 பாகையில் முறுக்குதல் போன்ற செயல்களை அலை செலுத்தியின் வடிவத்தில் தக்க மாற்றங்களைச் செய்து நிகழ்த்த முடியும்.

353 **அனுமதிப்பு** (Permitivity)

ஒரு மின்னின் காரணமாக ஓர் ஊடகத்தில் ஏற்படுகிற பாதிப்பின் அளவு அந்த ஊடகத்தின் அனுமதிப்பு எனப்படுகிறது. ஒரு மின்னை வைக்கும்போது ஊடகத்தின் மின் பண்புகள் மாறிப் போவதே பாதிப்பு எனப்படும். எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு இணைத்தகடு மின்தேக்கியின் தகடுகளுக்கிடையில் ஒரு மின்கடத்தாப் பொருளை ஊடகமாக வைக்கும்போது மின்தேக்குதிறன் மிகுதியாகிறது. ஊடகம் வெற்றிடமாக உள்ளபோது மின்தேக்குதிறன் C_0, ஊடகம் மின்கடவாப் பொருளாக உள்ளபோது மின்தேக்குதிறன் C எனில் C / C_0 என்னும் தகவு ஊடகத்தின் சார்பு அனுமதிப்பு எனக் குறிப்பிடப்படும். அதற்கு மின்கடவா மாறிலி (Dielectric constant) எனவும் பெயர் உண்டு. அதை ε, k ஆகிய எழுத்துகளால் குறிப்பது மரபு.

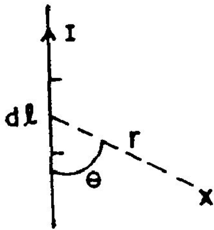
வெற்றிடத்தின் அனுமதிப்பு ε_0 எனக் குறிப்பிடப்படும். அதன் மதிப்பு 8.85×10^{-12} கூலும்^{2} / நியூட்டன்–மீட்டர்^{2}. ஓர் ஊடகத்தின் அனுமதிப்பு ε எனில் $\varepsilon = k\varepsilon_0$. இங்கு k என்பது ஊடகத்தின் சார்பு மின்கடவா மாறிலியாகும்.

சில நூல்களில் அனுமதிப்பு, மின்தேக்கு எண் (capacity) என்ற பெயரிலும் காணப்படும். ஒரு மின்தேக்கியில் ஊடகம் வெற்றிடமாக உள்ளபோது ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு மின்னேற்றினால் அதன் தகடுகளுக்கிடையிலான மின்னழுத்த வேறுபாடு V_0 எனவும், ஒரு மின்கடவாப் பொருள் ஊடகமாக உள்ளபோது அதே அளவு மின்னேற்றினால் மின்னழுத்த வேறுபாடு V எனவும் அமையும். அப்போது $V / V_0 = k$.

ஓர் ஊடகத்தில் மின்புலம் பரவும்போது தோன்றும் மின் இடப்பெயர்ச்சிக்கும் (electric displacement) மின்புல வலிமைக்கும் இடையிலான தகவு ஊடகத்தின் தனி அனுமதிப்பு (absolute permitivity) எனப்படும். ஒரு குறிப்பிட்ட வலுவுள்ள மின்புலம் ஒரு ஊடகத்தில் ஏற்படுத்தும் மின் இடப்பெயர்ச்சிக்கும், வெற்றிடத்தில் ஏற்படுத்தும் மின் இடப்பெயர்ச்சிக்கும் இடையிலான தகவு சார்பு அனுமதிப்பு (relative permitivity) எனப்படும். இரண்டு மின்களுக்கு இடையில் ஒரு மின் கடவா ஊடகத்தை வைக்கும்போது அவ்விரண்டு மின்களுக்கு இடையிலான விசை குறையும். கணக்கீடுகளில் இந்த விளைவைச் சேர்ப்பதற்காகவே அனுமதிப்பு என்ற பண்பு அறிமுகப் படுத்தப்படுகிறது.

வெற்றிடத்தின் அனுமதிப்பை, மின்வெளி மாறிலி (electric space constant) எனவும் குறிப்பிடுவது உண்டு.

354 ஆம்பியர் விதி (Ampere's law)



ஒரு கடத்தியின் வழியே மின்னோட்டம் செல்லும்பொழுது அதனைச் சுற்றியுள்ள வெளியில் ஒரு காந்தப்புலம் தோன்றுகிறது. மின்னோட்டத்தினால் ஏற்படும் இக்காந்தப்புலத்தின் வலிமையைக் காண்பதற்கு ஆம்பியர் விதி பயன்படுகிறது. இவ்விதியின்படி ஒரு புள்ளியில் ஏற்படும் காந்தப்புல வலிமை (dF) கடத்தியின் நீளத்திற்கு (dl) நேர்தகவிலும், கடத்தியில் பாயும் மின்னோட்டத்திற்கு (I) நேர்தகவிலும், கடத்தியிலிருந்து அப்புள்ளி அமைந்துள்ள திசையின் கோணத்தின் சைனுக்கு (sin θ) நேர்தகவிலும், கடத்தியிலுருந்து அப்புள்ளியின் தொலைவின் இரு மடிக்கு எதிர்தகவிலும் அமைந்திருக்கும்.

எனவே, $dF \propto \frac{I\, dl \sin\theta}{r^2}$

அல்லது $dF = \frac{K\, I\, dl \sin\theta}{r^2}$.

S.I. அலகுகளில் $K = 1/4\pi$ ஆகும். I ஆம்பியரிலும், dl மற்றும் r ஆகியவை மீட்டரிலும் அளக்கப்படும் பொழுது, காந்தப்புல வலிமை ஆம்பியர் சுற்று / மீட்டர் என்னும் அலகில் அளவிடப்படும்.

355 உட்புகு திறன் (Permeability)

ஓர் ஊடகத்தில் H வலுவுள்ள ஒரு காந்தப் புலம் பரவும்போது B என்ற காந்தப் பாய அடர்த்தி (காந்தத் தூண்டல்) தோன்றுமானால், B/H என்னும் தகவு அந்த ஊடகத்தின் உட்புகுதிறன் எனப்படும். அதை μ என்னும் கிரேக்க எழுத்தினால் குறிப்பது மரபு. ஊடகம் வெற்றிடமாயின் அதன் உட்புகுதிறன் μ_0 எனவும் அதில் தோன்றும் காந்தப் பாய அடர்த்தி B_0 எனவும் குறிப்பிடப்பட்டு, $\mu_0 = (B_0/H)$ என்று அமையும். μ_0-ன் எண் மதிப்பு $4\pi \times 10^{-7}$ ஹென்றி/மீட்டர். காந்தப்பாய அடர்த்தி வெபர் /மீட்டர்^{2} என்ற அலகிலும், காந்தப் புல வலிமை ஆம்பியர்/மீட்டர் என்ற அலகிலும் அளவிடப்படும்போது, உட்புகுதிறன் வெபர்/ஆம்பியர்-மீட்டர் என்ற அலகில் இருக்கும். சில வேளைகளில் ஹென்றி / மீட்டர் என்ற சமானமான அலகிலும் உட்புகுதிறன் அளவிடப்படுவதுண்டு. அலகுகளைச் சார்ந்திருப்பதைத் தவிர்ப்பதற்காக சார்பு உட்புகுதிறன் (relative permeability) என்ற அளவு வரையறுக்கப்படுகிறது. அதை μ_r எனக் குறிப்பிட்டால், $\mu_r = (\mu/\mu_0)$. இது வெறும் எண் மதிப்பு மட்டுமே கொண்டது.

பொருட்கள் அவற்றின் சார்பு உட்புகுதிறன்களின் அடிப்படையில் வகைப்படுத்தப்படுகின்றன. ஒன்றைவிடக் குறைந்த சார்பு உட்புகுதிறன் உள்ளவை டயா காந்தப் பொருட்கள். ஒன்றைவிடச் சற்று மிகுதியான சார்பு உட்புகுதிறன் கொண்டவை பாரா காந்தப் பொருட்கள். ஒன்றைவிட மிக மிகுதியான சார்பு உட்புகுதிறன் கொண்டவை பெரோ காந்தப் பொருட்கள். அவற்றின் சார்பு உட்புகுதிறன், H-ன் மதிப்பையும், கடந்த காலக் காந்தப் பாதிப்புகளையும் பொறுத்து மாறும். உட்புகுதிறனை அளவிட உட்புகுதிறன்மானிகள் (permeameters) பயன்படும்.

356 உருளைச்சுருள் (Solenoid)

உருளைச்சுருள் என்பது உருளை வடிவத்தில் அமைந்த திருகு வடிவக் கம்பிச் சுருளாகும். இதன் நீளம் விட்டத்தைவிட மிக அதிகமாக இருக்கும். இது மின்னோட்டம் மூலமான காந்தவிளைவுக்கு ஒரு சிறந்த எடுத்துக்காட்டாக அமைவதோடு மின்னோட்டத்தைத் தாங்கிச் செல்லும் கடத்திகளில் மிகவும் பயன்தரும் அமைப்பாகவும் விளங்குகிறது. உருளைச்சுருளின் வழியாக மின்னோட்டம் பாயும்போது அது ஒரு திறன்மிகு சட்டக் காந்தம் போல் செயற்படும். உருளைச்சுருளின் முனையை நோக்கும் போது அம்முனையின் வழியாக மின்னோட்டம் வலஞ்சுழியாகப் பாயுமானால் அம்முனை தென்துருவம் போல் செயற்படும்; இடஞ்சுழியாக மின்னோட்டம் பாயுமேயானால் அம்முனை வடதுருவம் போல் செயற்படும். மின்னோட்டம் செல்லும் வரிச்சுருளின் உள்ளே ஒரு தேனிரும்புச் சட்டத்தை வைத்தால் அச்சட்டம் காந்தமாக்கப்பட்டு மின்காந்தம் என்று அழைக்கப்படுகிறது. உருளைச்சுருள் மின்காந்த அமைப்புகளிலும் காந்த அஞ்சல் (Magnetic relay), மின்மணிச்சுற்று (electric bell circuit), தொலைத் தந்தித் தொடர்பு, தொலைபேசித் தொடர்பு, தொலைபேசிச் செவிப்பொறி (telephone ear-piece), அசைவுறு காந்த அம்மீட்டர் (moving-iron ammeter) ஆகியவற்றிலும் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

ஒரு நீள் உருளைச்சுருளின் அச்சருகே ஏற்படும் காந்தப்புலத்தை $\vec{B} = \frac{\mu_0 N\vec{I}}{l}$

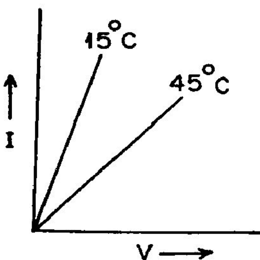
என்ற சமன்பாட்டின் மூலம் கணக்கிடலாம். மின்னோட்டம் I ஆம்பியரிலும், நீளம் l மீட்டரிலும், உட்புகுதிறன் μ_0 வெப்பர் / ஆம்பியர் – மீட்டரிலும் இருப்பின், புலச்செறிவு B - இன் அலகு வெப்பர் / சதுர மீட்டர் ஆகும்.

357 எலக்ட்ரான் வோல்ட் (Electron volt)

இது இயற்பியலில் வேலை அல்லது ஆற்றலின் அலகு ஆகும். ஒரு வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாட்டில் ஓர் எலக்ட்ரான் செல்லத் தேவையான வேலை ஓர் எலக்ட்ரான் வோல்ட்டாகும். இவ்வேலையே அந்த எலெக்ட்ரானின் ஆற்றலாக அமையப் பெறுகிறது. இரு புள்ளிகளுக்கிடையே ஒரு கூலும் மின்னூட்டம் செல்லத் தேவையான வேலை ஒரு ஜூல் என்றால், அவ்விரு புள்ளிகளுககிடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு ஒரு வோல்ட் ஆகும். எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் 1.6×10^{-19} கூலும் (Coulomb). 1 எலக்ட்ரான் வோல்ட் $= 1.6 \times 10^{-19}$ ஜூல் வேலையாயிருக்கும் அல்லது ஆற்றலாக அமையும்.

358 ஓம் விதி (Ohm's law)

'மாறா வெப்பநிலையில் ஒரு கடத்தியின் வழியே பாயும் மின்னோட்டம் கடத்தியின் இரு முனைகளுக்கு இடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு நேர்தகவில் இருக்கும்' என்பதே ஓம் விதியாகும். இவ்விதிப்படி எந்த ஒரு கடத்திக்கும், மின் அழுத்த வேறுபாட்டிற்கும் (V) மின்னோட்டத்திற்கும் (I) இடையேயுள்ள தகவு ஒரு மாறிலியாக அமையும். இம்மாறிலி கடத்தியின் மின்தடை R எனப்படும்.



அதாவது, $\frac{V}{I}$ = மாறிலி = R. அல்லது, V = IR.

மின்னழுத்த வேறுபாடு வோல்ட் அலகிலும், மின்னோட்டம் ஆம்பியர் அலகிலும் அளக்கப்படுகிறது. ஆகவே, மின்தடை அலகு வோல்ட் ஆம்பியர். இதனையே ஓம் என்கிறோம்.

மின்னழுத்த வேறுபாடு 1 வோல்டாகவும், மின்னோட்டம் 1 ஆம்பியராகவும் இருந்தால், மின்தடை 1 ஓம் ஆகும்.

வெப்பநிலை மாறாமல் இருக்கும் பொழுதுதான் ஓமின் விதி பொருந்துகின்றது. எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு கடத்தியின் வெப்பநிலை 15°C-லிருந்து 45°C-க்கு உயர்த்தப் பட்டாலும், V - I மாற்றம் நேர்கோட்டியல்பாகவே (linear) இருக்கும். இருப்பினும் கடத்தியின் மின்தடை மாறுபட்டிருக்கும். கடத்தியின் V - I தொடர்கோடு நேர்கோட்டியல்பாக இருந்தால் தான் அதாவது, மின்தடை RV, மற்றும் I-ஐ சார்ந்திராமல் உள்ளபோதுதான், ஓமின் விதிக்கு கடத்தி உட்பட்டுள்ளது என்கிறோம். ஓமின் விதி, மின்னோட்டவியல் மற்றும் எலக்ட்ரானியலில் ஓர் அடிப்படை விதியாக உள்ளது.

359 **காந்தமாக்கல்** (Magnetisation)

தேனிரும்பு அல்லது எஃகுத் துண்டுகளைத் தேய்ப்பு முறை (touch method) அல்லது மின்சார முறையில் காந்தங்களாக மாற்றலாம்.

தேய்ப்பு முறையில் ஒற்றைத் தேய்ப்பு முறை, இரட்டைத் தேய்ப்பு முறை என இரண்டு முறைகள் உள்ளன. மின்சார முறையில் காந்தமாக்கப்பட வேண்டிய உலோகத் துண்டின் மீது காப்பிட்ட கம்பியின் வழியே ஒரு திசை மின்சாரத்தை பாய்ச்சினால், உலோகத் துண்டு மிக வலிமை மிகுந்த காந்தமாக மாறும். காந்தமாக்கச் செறிவு என்பது ஒரு காந்தத் திறன் திருப்புத்திறனுக்கும் அதன் பருமனுக்கும் உள்ள தகவாகும் $I = \frac{m}{a}$. இதில் a= பரப்பளவு, m= காந்த முனை வலிமை. இதனையே காந்தத்தின் ஓரலகு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பிற்குறிய முனை வலிமையாகவும் கூறலாம். இது வெபர் / சதுர மீட்டர் என்ற அலகினால் அளக்கப்படுகிறது.

360 **காந்த அழுத்தம்** (Magnetic potential)

காநதப்புல வலிமையை வரையறுப்பதற்குப் பயன்படும் ஓர் அளவே காந்தப்புல அழுத்தமாகும். வெப்பமானது உயர் வெப்பநிலைப் பகுதிகளிலிருந்து குறைந்த வெப்பநிலைப் பகுதிகளுககுப் பரவுவதைப் போலவே நாம் வரையறுக்கும் காந்தப்புல அழுத்தத்தின் மிக அதிக மாற்றம் ஏற்படும் திசையிலேயே காந்தப்புலம் அமைகிறது. இதன்படி காந்தப்புல அழுத்தத்தின் மாறுவீதம் அவ்விடத்தில் ஏற்படும் காந்தப்புல வலிமையை (F) கொடுக்கும். ஒரு வடமுனையில் ஏற்பட்ட காந்தப்புலத்தில் ஒரு காந்த அலகு முதல் வடமுனையை நோக்கி dx தொலைவு நகர்த்தினால், ஓரலகு வடமுனை செய்த வேலை Fdx ஆகும். ஓரலகு வடமுனையின் முதல் நிலைக்கும் இரண்டாவது நிலைக்குமிடையில் உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு dv எனில், dv = - Fdx அல்லது F = - dv / dx ஆகும். இதில் எதிர்க்குறியானது ஒத்த முனைகளுக்கிடையே விலக்க விசை செயற்படுவதையும், தூரம் அதிகமாகும்போது அவ்விசை குறைவதையும் காட்டுகிறது. காந்தப்புலத்தில் ஒரு புள்ளியில் ஏற்படும் காந்தப்புல அழுத்தத்தினை மற்றொரு வகையிலும் வரையறுக்கலாம். வரம்பிலியான தொலைவிலிருந்து காந்தப்புலத்தில் அமைந்துள்ள ஒரு புள்ளிக்கு, ஓரலகு காந்த வடமுனையை நகர்த்தும் பொழுது செய்யப்படும் வேலையை அப்புள்ளியில் உள்ள காந்தப்புல அழுத்தம் எனலாம்.

361 **காந்த இருமுனை** (Magnetic dipole)

ஒரு காந்தத்தில் வடமுனையும் தென்முனையும் எப்பொழுதும் இணைந்தே இருககின்றன. இதனையே காந்த இருமுனை என்கிறோம். காந்தத்தை எத்தனை சிறுதுண்டுகளாக நறுக்கினாலும், ஒவ்வொரு துண்டும் ஒரு காந்த இருமுனையாகவே அமையும். இதற்கு அடிப்படையான காரணம் மூலக்கூறுகளில் ஏற்படும் எலக்ட்ரான் இயக்கத்தினால் உண்டாகும் காந்த விளைவே ஆகும். இதனால்தான், மின்னூட்டங்களில் நேர்மின்னூட்டம் எதிர்மின்னூட்டம் ஆகியவற்றைத் தனித்தனியாகப் பிரித்தெடுப்பது போலக் காந்தமுனைகளைப் பிரித்தெடுக்க முடிவதில்லை.

362 காந்த ஏற்புத்திறன் (Magnetic susceptibility)

ஒரு பொருளின் காந்தமாக்கச் செறிவிற்கும், அதனைக் காந்தமாக்கும் புலத்திற்குமுள்ள தகவு. H என்பது புலச் செறிவாகவும், I என்பது பொருள் பெற்ற காந்தமாக்கச் செறிவாகவும் கொண்டால், காந்த ஏற்புத்திறன் K என்பது, I / H ஆகும்.

$$K = \frac{I}{H}$$

மேலும் $B = \mu_0 H + I$. பொருளின் காந்தப்புலனுக்கும், காந்தமாக்கும் புலனுக்குமுள்ள தகவு, காந்த உட்புகுத்திறன் μ என்றால்,

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{\mu_0 H}{H} + \frac{I}{H}$$

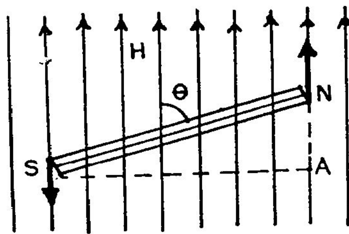
$$\mu = \mu_0 + K$$

மேலும் $\mu = \mu_0 \mu_r$. ஒரு பொருளின் ஒப்பு காந்த உட்புகுத்திறன், $(\mu/\mu_0) = \mu_r$ எனப்படும். இதில் μ_0 என்பது காற்று அல்லது வெற்றிடத்தின் காந்த உட்புகுத்திறனாகும்.

$$\mu_0 \mu_r = \mu_0 + K.$$

ஒரு பொருள் எவ்வளவு எளிதாக காந்தமாக்கப்படுகிறது என்பதை அளவிட உதவும் பண்பாக காந்த ஏற்புத்திறனைக் கொள்ளலாம்.

363 காந்தத் திருப்புத்திறன் (Magnetic moment)



ஒரு காந்தத்தின் திருப்புத்திறன் என்பது அதன் நீளம், முனை வலிமை ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனுக்குச் சமமாகும். 2l மீட்டர் நீளமும் m வெபர் (Weber) முனைவலிமையும் கொண்ட ஒரு காந்தத்தை (NS), H ஆம்பியர்/மீட்டர் என்ற சீரான புலச்செறிவுள்ள ஒரு காந்தப்புலத்தில் தொங்க விடுவதாகக் கொள்வோம் (படம்). இப்புலம் காந்தத்தின் வடமுனையின்மீது mH நியூட்டன்கள் விசையைப் புலத்திசையிலும், தென்முனையின்மீது அதே அளவு விசையைப் புலத்திற்கு எதிர்திசையிலும் செலுத்துகிறது. இச்சமமான, எதிர்திசைகளில் செயற்படும் விசைகளின் இரட்டையானது புலத்தின் திசைக்கு இணையாக வருமாறு காந்தத்தைச் சுழற்ற முற்படுகிறது. இந்த விசை இரட்டையின் திருப்புதிறன்

$$C = mH \times SA$$

$$C = mH. 2l. \sin\theta$$

ஏனெனில் $SA = SN. \sin\theta = 2l \sin\theta$ (படம்)

எனவே, $C = 2lmH \sin\theta$

மேலும், $M = 2lm$ எனக் கொண்டால்

$C = M H \sin\theta$

இங்கு $H = 1$, $\theta = 90°$ என்றிருப்பின் $C = M = 2lm$

எனவே காந்தத் திருப்புதிறனை (M) பின் வருமாறு வரையறுக்கலாம்: 'ஒரு காந்தத்தை ஓர் ஆம்பியர்/மீட்டர் செறிவுள்ள சீரான காந்தப்புலத்தில், புலத்தின் திசைக்குச் செங்குத்தாக வைக்கும்பொழுது அதன்மீது செயற்படும் விசை இரட்டையின் திருப்புதிறனே காந்தத்தின் காந்தத் திருப்புதிறனாகும்'. இது ஒரு திசையி அளவாகும். இது வெபர் – மீட்டர் அலகால் குறிக்கப்படுகிறது.

364 **காந்தப் பாய்ம இயக்கவியல்** (Magneto-hydrodynamics)

ஒரு காந்தப் புலத்தில் இயங்கும் ஒரு பாய்மத்தின் இயக்கவியல் காந்தப் பாய்ம இயக்கவியல் எனப்படுகிறது. அத்தகைய பாய்மம் மின்னோட்டத்தை எளிதாகக் கடத்தக் கூடிய ஒரு திரவநிலை உலோகமாகவோ, அயனிநிலை வாயுவாகவோதான் இருக்க முடியும். கட்டுப்படுத்தப்பட்ட வெப்ப அணுக்கரு வினைக்கலங்களை உருவாக்குவதிலும் இயக்குவதிலும் காந்தப் பாய்ம இயக்கவியல் பெரும் பங்காற்றுகிறது. காந்தப் பாய்ம இயக்கவியல் தத்துவங்கள் ஒலியை மிஞ்சிய வேகத்துடன் பறக்கும் விமானங்களை வடிவமைத்துச் சோதித்தல், விண்வெளிக் கலங்களை அயனிநிலை பிளாஸ்மாக்களின் உதவியால் செலுத்துதல், விண் வெளியிலிருந்து வளி மண்டலத்துக்குள் நுழைகிற விண்வெளிக் கலங்களின் வேகங்களைத் தணித்தல், உயர் ஆற்றல் துகள் முடுக்கிகளைப் பற்றிய ஆய்வுகள், மைக்ரோ அலையாக்கிகள், வெப்ப அயனி ஆற்றல் மாற்று சாதனங்கள், மெல்லிய உலோகப் பூச்சுகளைப் படிய வைத்தல், காஸ்மிக் கதிர் ஆய்வுகள், மேல் வளிமண்டல நிகழ்வு ஆய்வுகள் போன்ற துறைகளில் செயற்படுத்தப்படுகின்றன. காந்தப் பாய்ம இயக்கவியலை பாய்மக் காந்தவியல், காந்த வளியியக்கவியல் போன்ற பெயர்களாலும் குறிப்பிடுவதுண்டு. பாய்மத்தில் பாயும் மின்னோட்டங்களின் மூலமாகப் பாய்மமும் காந்தப்புலமும் இடைவினை செய்கின்றன. மின்கடத்தும் பாய்மமும், காந்தப்புலக் கோடுகளும் ஒன்றுக்கொன்று குறுக்காக நகரும்போது பாய்மத்தில் மின்னோட்டங்கள் தூண்டப்படுகின்றன. அந்த மின்னோட்டங்கள் காந்தப்புலம், பாய்மத்தின் இயக்கம் ஆகிய இரண்டையுமே மாற்றியமைக்கும். இத்தகைய இடைவினைகள் பாய்மத்தையும், காந்த விசைக் கோடுகளையும் பிணைத்து சேர்ந்தாற்போல நகரும்படி செய்கின்றன.

365 **காந்தப்புலம்** (Magnetic field)

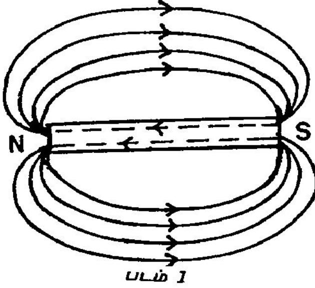
ஒரு காந்தத்தைச் சுற்றியுள்ள வெளியில் அக்காந்தத்திலிருந்து சிறிது தொலைவுவரை அதன் விளைவை உணர முடிகிறது. இவ்வாறு காந்தத்தின் விளைவை உணரமுடிகிற 'வெளி' அக்காந்தத்தின் புலம் எனப்படும். காந்தத்தை விட்டு விலகிச் செல்லும்போது அதனால் ஏற்படும் காந்தப்புலத்தின் வலிமை குறைந்து கொண்டே போகும். இக்காந்தப்புலத்தின் எந்த ஒரு புள்ளியிலும் தனித்த ஒரு காந்த முனையிலிருக்கும்பொழுது அது காந்தத்தின் விசையை உணர்ந்து அதனை நோக்கி நகரும். இவ்விசையை அடிப்படையாகக் கொண்டே காந்தப்புலத்தின் வலிமையை அளக்க முடியும். ஒரு புள்ளியில் ஏற்படும் காந்தப்புலத்தின் வலிமை அப்புள்ளியில் வைக்கப்படும் ஓரலகு காந்த வடமுனையின்மீது செயற்படும் விசைக்குச் சமமாகும். இவ்வாறு காந்தப்புலத்தில் தனித்த ஓரலகு வடமுனைகள் இயங்கும் பாதைகளே அப்புலத்தின் விசைக்கோடுகள் என வரையுறுக்கப்படுகின்றன. ஒத்த முனைகள் ஒன்றையொன்று விலக்கு காரணத்தினால் ஓரலகு காந்த வடமுனை காந்தத்தின் வடமுனையினால் ஒதுக்கப்பட்டும் தென்முனையினால் ஈர்க்கப்பட்டும், வடமுனையிலிருந்து தென்முனையை நோக்கிச் செல்லுகின்றது. எனவே காந்த விசைக்கோடுகள் காந்தத்தின் வடமுனையிலிருந்து புறப்பட்டு, தென்முனையைச் சென்றடைவதாகக் கருதப்படுகின்றன.

366 **காந்தப் பொருட்கள்** (Magnetic materials)

எல்லாப் பொருட்களும் எண்ணிலடங்கா மூலக்கூறுகளைக் கொண்டவை. அவற்றின் தனி மின்களோ அல்லது மின் அமைப்புகளோ (system of charges) பெற்றுள்ள காந்தத் திருப்புதிறன்களை முறைப்படி ஒருமுகப்படுத்தினால் உருவாகும் தொகுப்பின் காந்தத் திருப்புதிறனே (resultant magnetic moment) அப்பொருட்களின் காந்தப் பண்பிற்குக் காரணமாகும். இத்தொகுபயன் காந்தத் தன்மையைப் பெறும் தன்மை கொண்ட பொருட்களை நாம் காந்தப் பொருட்கள் என்கிறோம். இப்பொருட்களை மின்காந்தப் புலத்தில் வைக்கும்போது வெளிப்படும் பண்புகளை அடிப்படையாகக் கொண்டு

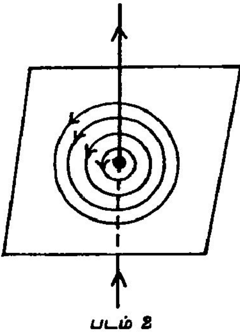
அவற்றை டயா (dia), *பாரா* (para), *பெரோ* (fero) *காந்தப் பொருட்கள் என்ற மூன்று பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம்.*

367 காந்தவிசைக் கோடுகள் (Magnetic lines of force)



படம் 1

ஒரு காந்தத்தை அல்லது மின்னோட்டம் செல்லும் கடத்தியைச் சூழ்ந்து காந்தத்தன்மை உணரப்படும் வெளியைக் காந்தப்புலம் என்று கூறுகிறோம். காந்தப்புலம் கண்களுக்குப் புலப்படாதெனினும் அப்புல அமைப்பை (pattern) *நுண்ணிய இரும்புத் துகள்களின் உதவி கொண்டு அறியலாம். ஒரு சட்டக் காந்தத்தின்மேல் வைக்கப்பட்ட மெல்லிய அட்டைமீது இரும்புத் துகள்களைப் பரவலாகத் தூவி அட்டையை மெதுவாகத் தட்டிவிட வேண்டும். இவ்வாறு செய்யும்போது இரும்புத் துகள்கள் சிறு காந்தங்களாகி காந்தப்புலத்தின் திசையில் பல கோடுகளாக அணி வகுத்து நிற்கும். இத்துகள்களின் அணி வகுப்பு காந்தப்புலத்தின் அமைப்பைக் கொடுக்கும் இத்துகள்களின் வழியே வரையப்படும் கோடு காந்தவிசைக் கோடு ஆகும். (படம் 1). காந்த விசைக் கோடுகள் காந்தத்திற்கு வெளியே வடமுனையிலிருந்து தென்முனைக்கும், காந்தத்தின் உள்ளே தென்முனையிலிருந்து வடமுனைக்கும் செல்கின்றன.*


படம் 2

இதே போல மின்னோட்டம் பாயும் கடத்தி ஒன்றினால் உருவாகும் காந்தப்புலத்தினைப் படம் 2 விளக்குகிறது. இவ்விசைக்கோடுகள் கடத்தியினைச் சுற்றி, அதற்கு நேர் குத்துத் தளத்தில் வட்டவடிவில் அமைகின்றன.

368 கால்வனா மீட்டர் (Galvanometer)

மின்சுற்றில் பாயும் மின்னோட்டத்தை அறிய கால்வனா மீட்டர் பயன்படுகிறது. இது இயங்கும் கம்பிச் சுருள், இயங்கும் காந்தம் என இரண்டு அடிப்படை வகைகளில் அமைந்துள்ளது. முதல்வகையில், காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் ஒரு கம்பிச்சுருளில் மின்னோட்டம் பாயும்பொழுது இருபுறங்களிலும் ஏற்படும் விசைகளினால், சுருளில் ஏற்படும் சுழற்சியைக் கொண்டு மின்னோட்டத்தை அறியப் பயன்படுகிறது. இரண்டாவது வகையில், கம்பிச் சுருளின் வழியே மின்னோட்டம் பாயும்பொழுது ஏற்படும் காந்தப் புலத்தினால் அதன் மையத்தில் இருக்கும் காந்தத்தில் ஏற்படும் விலக்கத்தைக் கொண்டு மின்னோட்டம் அளவிடப்படுகிறது. இவற்றில் முதல்வகையே பெரும்பாலும் பயன்படுத்தப்படுகிறது. கால்வனாமீட்டரை, மின்னோட்டத்தை அளக்கும் அம்மீட்டராகவும் மின்னழுத்தத்தை அளக்கும் வோல்ட் மீட்டராகவும் மாற்றி அமைக்க முடியும்.

369 காஸ் தேற்றம் (Gauss theorem)

1. *மின்னியல் காஸ் தேற்றம் கூறுவதாவது : 'ஒரு மூடிய பரப்பின் ஊடாக வெளிநோக்கிப் பாயும் மின்பாயம்* $\vec{E}$, *அப்பரப்புக்குள் அடங்கியுள்ள மின்களின் இயல் கூட்டுத் தொகையை வெற்றிடத்தின் அனுமதிப்பால் வகுக்கும்போது கிடைக்கிற மதிப்புக்குச் சமம்'. அதாவது,*

$$\iint \vec{E}\cdot\vec{dS} = \sum Q/\varepsilon_0$$

கார்ட்டீசியன் ஆயங்களைப் பயன்படுத்தி காஸ் தேற்றத்தின் வகைப்பாட்டு வடிவத்தைப் பின்வருமாறு எழுதலாம்:

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

இதில் ρ என்பது ஒரு சிறு பரும வெளியில் உள்ள மின் அடர்த்தி (charge density);

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}, \quad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}, \quad E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}$$

என்ற உறவுகளைப் பயன்படுத்தினால், மின்னழுத்தத்தின் அடிப்படையிலான பின்வரும் சமன்பாடு கிடைக்கிறது:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}.$$

இது பாய்சான் சமன்பாடு எனப்படும்.

மூடிய பரப்புக்குள் மின்கடவாப் பொருள் இருக்குமானால் 1–ம் சமன்பாடு பின்வருமாறு மாறும்:

$$\iint \vec{E}.\vec{dS} = \sum Q_c/\varepsilon_0 + \sum Q_p/\varepsilon_0.$$

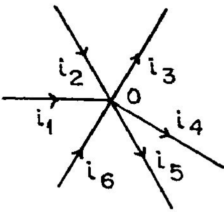
இங்கு Q_c கடத்தல் மின்களையும், Q_p முனைவாக்க மின்களையும் (polarisation charges) குறிக்கும்.

2. காந்தவியலின் காஸ் தேற்றம் கூறுவதாவது: 'நிலைக் காந்தங்கள் அடங்கிய ஒரு தொகுதியில் வெற்றிடமான ஒரு மூடிய பரப்பின் மேலாகப் பரவியுள்ள காந்தப் பாயம் சுழியாகும்.' அதாவது

$$\iint \vec{B}.\vec{dS} = 0.$$

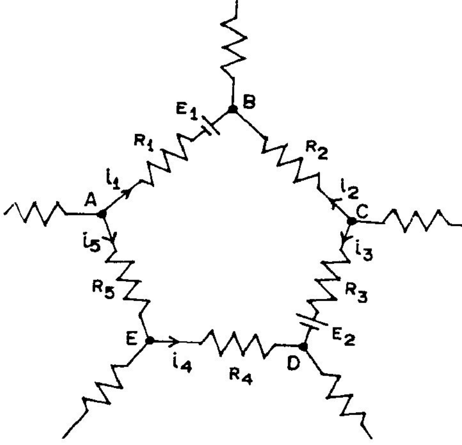
இது சீரான மின்னோட்டங்களால் ஏற்படும் காந்தப் பாயங்களுக்கும் பொருந்தும்.

370 கிர்க்காப் விதிகள் (Kirchhoff's laws)



சிக்கலான மின் வலைச் சுற்றுகளின் தீர்வுகள் காண ஓம் விதியுடன் கிர்க்காப் விதிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. கிர்க்காப் **முதல் விதி** : 'ஒரு மின் சுற்றில் எந்த ஒரு சந்திப்பிலும் சந்திக்கின்ற மின்னோட்டங்களின் குறியியல் கூட்டுத்தொகை (algebraic sum) சுழியாகும். அதாவது, எந்த ஒரு புள்ளியையும் நோக்கிப் பாயும் மொத்த மின்னோட்டத்தின் அளவு அப்புள்ளியை விட்டு வெளியேறும் மொத்த மின்னோட்டத்திற்குச் சமம்'. சந்திப்பை நோக்கி வரும் மின்னோட்டங்கள் நேர்குறி (positive) கொண்டனவாகவும், அதனை விட்டு நீங்கிச் செல்லும் மின்னோட்டங்கள் எதிர்குறி கொண்டனவாகவும் கொண்டால், கிர்க்காப் விதிப்படி படத்தில் O புள்ளியில் சந்திக்கும் மின்னோட்டங்களுக்கு $i_1 + i_2 - i_3 - i_4 - i_5 + i_6 = 0$. அதாவது, $\sum i = 0$. இவ்விதிப்படி கடத்தியின் எப்புள்ளியிலும் மின்னோட்டங்கள் சேமித்து வைக்கப்–படுவதில்லை என்பது தெளிவாகிறது.

கிர்க்காப் **இரண்டாம் விதி**: 'ஒரு மின்வலைச் சுற்றில் மூடப்பட்ட பாதை ஒன்றில் உள்ள மின்னோட்டத்தையும், மின்தடையையும் பெருக்கி வந்த தொகையின் குறியியல் கூட்டுத்தொகை அப்பாதையில் செயல்படும் மின்னியக்கு விசைகளின் குறியியல் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமம்.' A B C D E A என்ற மூடப்பட்ட சுற்றில் வலஞ்சுழியாகப் பாயும் மின்னோட்டங்கள் நேர்குறியுடையனவாகவும், இடஞ்சுழியாகப் பாய்வன எதிர் குறியுடையனவாகவும் கொள்வோம் (படம்). மேலும் மின்னோட்டத்தை வலஞ்சுழியாகச்



செலுத்தும் மின்னியக்கு விசை நேர் குறியுடையதாகவும், இடஞ்சுழியாகச் செலுத்தும் மின்னியக்கு விசை எதிர்குறி யுடையதாகவும் கொள்வோம்.

மூடிய சுற்று A B C D E A-க்கு, கிர்க்காப் இரண்டாவது விதிப்படி $i_1R_1 - i_2R_2 + i_3R_3 - i_4R_4 - i_5R_5 = E_1 - E_2$. அதாவது, $\sum iR = \sum E$. இச்சமன்பாடு ஒரு மூடிய மின்சுற்றைக் குறிக்கிறது. கிர்க்காப் விதிகளைக் கொண்டு சுற்றின் எந்த ஒரு மின்தடையில் பாயும் மின்னோட்டத்தையும், அல்லது மின்னியக்கு விசையையும், அல்லது, மின் தடையையும் கணக்கிடலாம்.

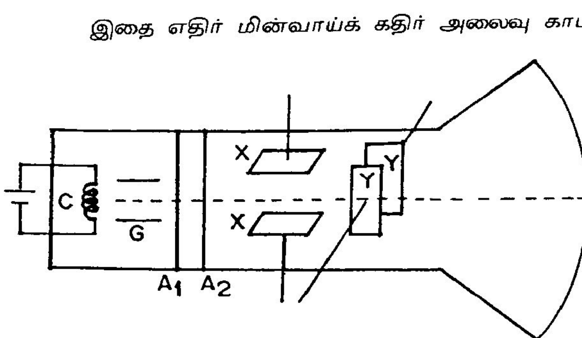
371 கூலும் விதி (Coulomb's law)

q_1 எனும் ஒரு புள்ளிமின் வெற்றிடத்தில் r தொலைவிலுள்ள q_2 என்னும் மற்றொரு புள்ளிமின்னின் மேல் $F = k_0q_1q_2 / r^2$ என்ற விசையைச் செலுத்தும் என்று கூலும் விதி கூறுகிறது. இதில் k_0 என்பது ஒரு மாறிலி. அனைத்துலக அளவீட்டு முறையில் அதன் மதிப்பு $(1/4\pi\varepsilon_0)$. இதில் ε_0 என்பது வெற்றிடத்தின் அனுமதிப்பு (permittivity). அதன் மதிப்பு தோராயமாக 8.85×10^{-12} கூலும்^{2} / நியூட்டன்-மீட்டர்^{2}.

மின்களுக்கிடையிலான விசை அவற்றை இணைக்கும் கோட்டில் செயல்படும். இரண்டு மின்களும் ஒரே குறியை உடையவையெனில் அவ்விசை விலக்கு தன்மை பெற்றிருக்கும். எதிர் எதிரான குறிகளையுடைய மின்களுக்கிடையில் ஈர்ப்பு விசை ஏற்படும். அணுக்கரு நிலையில் r-ன் மதிப்பு 10^{-12} சென்டிமீட்டருக்கும் குறைவாயிருந்தால் கூலும் விதி ஒத்து வராது. காந்தவியலிலும் ஒரு கூலும் விதியுண்டு. அதன்படி வெற்றிடத்தில் இரு காந்த முனைகள் r என்ற இடைவெளியுடன் அமைந்திருந்தால் அவற்றுக்கிடையில் $F = (\mu_0/4\pi)((m_1 m_2)/r^2)$ என்ற விசை செயல்படும். இங்கு m_1, m_2 ஆகியவை காந்த முனைகளின் வலிமைகள். μ_0 என்பது வெற்றிடத்தின் உட்புகு திறன் (permeability); அதன் மதிப்பு $4\pi \times 10^{-7}$ வெபர்/ஆம்பியர்-மீட்டர். இச்சமன்பாடு சாமர்பெல்ட் என்பவரால் உருவாக்கப்பட்டது. அதில் முனை வலிமைகள் ஆம்பியர்-மீட்டர் என்ற அலகினால் அளக்கப்படும். அவற்றை வெபர்களில் அளவிட்டு கென்னலி என்பவர் $F = m_1m_2/(4\pi\mu_0r^2)$ என்ற சமன்பாட்டை உருவாக்கினார். காந்த முனைகள் ஓரினமாயின் விலக்குவிசையும், எதிர் இனங்களாயின் ஈர்ப்பு விசையும் தோன்றும்.

372 கேதோடு கதிர் அலைவுமானி (Cathode ray oscilloscope)

இதை எதிர் மின்வாய்க் கதிர் அலைவு காட்டி எனவும் அழைப்பர். இதில் ஓர் எலக்ட்ரான் கற்றை மின் புலங்களாலும், காந்தப் புலங் களாலும் திசை மாற்றம் அடைகிறது. அக்கற்றை ஓர் ஒளிர் திரையில் படும்போது தோன்றும் ஒளிப்புள்ளியின் இடப் பெயர்ச்சி மூலம் அடையும் திசை மாற்றங்



களை ஆராயவும், பயன் படுத்தவும் முடிகிறது. விரைவான மின்னழுத்த மாற்றங்களை ஆராய இக்கருவி உதவும்.

இக்கருவியில் படத்தில் காட்டியதைப் போன்ற ஒரு வெற்றிடக் குழல் உள்ளது. அதன் ஒரு முனையில் அகன்ற ஒளிர்திரை உண்டு. அதற்கு எதிரான முனையில் எலக்ட்ரான்களை உமிழும் இழை பொருத்தப்பட்டிருக்கும் (C). அதில் மின்னோட்டத்தைச் செலுத்திச் சூடாக்கினால் எலக்ட்ரான்கள் வெளிப்படும். G என்னும் கட்டுப்பாட்டு கிரிட் தனது எதிர் மின்னழுத்தத்தின் மூலம் எலக்ட்ரான்களை ஒரு மெல்லிய கோட்டுக் கற்றையாக அழுத்திக் குழலின் அச்சின்வழியாகச் செலுத்தும். A_1, A_2 என்னும் நேர் மின்வாய்களில் நேர் மின்னழுத்தம் செலுத்தப் பட்டுள்ளதால் அவை எலக்ட்ரான் கற்றையை முடுக்கிவிடும். இப்பகுதி எலக்ட்ரான் வீசி (electron gun) எனப்படுகிறது.

எலக்டரானின் பாதையில் XX என்ற இரட்டைத் தகடுகள் கிடையாகவு ம் ,YY என்ற இரட்டைத் தகடுகள் செங்குத்தாகவும் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. அவற்றில் காந்தப் புலத்தையோ, மின் புலத்தையோ செலுத்தி எலக்ட்ரான் கற்றையைச் செங்குத்துத் திசையில் அல்லது கிடைத்திசையில் திசை மாற்றலாம். அதன் இயக்கத்தை ஒளிர் திரையில் தோன்றும் ஒளிப் புள்ளியின் இயக்கத்தின் மூலம் அளவிட முடியும். திசைமாற்றத் தகடுகளில் மின்புலத்தைச் செலுத்துமாறு அமைந்த கருவிகளில் எலக்ட்ரான் கற்றை எதிரின மின்னுள்ள தகட்டை நோக்கி நகரும். காந்தப் புலத்தைப் பயன்படுத்துகிற கருவிகளில் எலெக்ட்ரான் கற்றை காந்தப் புலத்திற்கு நேர்குத்துத் திசைகளில் நகரும். இக்கருவி தொலைக் காட்சி, ரேடார், கணிப்பொறி போன்ற அமைப்புகளில் உயிர்நாடியான உறுப்பாகும்.

373 எடி மின்னோட்டம் (Eddy current)

மாறுகின்ற காந்தப் புலமொன்றில் வைக்கப்பட்ட பருத்த உலோகக் கட்டிக் கடத்திகளில் அக்காந்தப் புலத்தூண்டுதலால் உருவாகும் தூண்டு மின்னோட்டத்திற்குச் சுழல் மின்னோட்டம் என்று பெயர். ஜூன் பெர்னார்ட் ஃபோகால்ட் (Jean Bernard Foucault) என்ற அறிவியல் அறிஞர் இம்மின்னோட்டம் பற்றி விரிவான ஆய்வு செய்ததால் இது ஃபோகால்ட் (Foucault) மின்னோட்டம்' என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.

பருத்த உலோகக் கடடிக் கடத்திகளின் மின்தடை (R) குறைவாக இருப்பதால், அவற்றில் ஏற்படும் தூண்டு மின்னோட்ட (I) மதிப்பு அதிகமாக இருக்கும். மேலும் இம்மின்னோட்டம் மாறுகின்ற காந்தப் புலத்திற்கேற்பத் தொடர்ந்து அதிகரித்தும், குறைந்தும் உலோகத்துண்டிற்குள் சுற்றிச் சுழன்று பாய்வதால் இது எடி மின்னோட்டம் எனப் பெயர் பெற்றது. இதன் மூலம் ஏற்படும் I^2R இழப்பு உலோகத்துண்டின் வெப்பநிலையை விரைவில் அதிகரித்து விடுகிறது. எனவே, தொழிற்சாலைகளில் உலோகக் கலவைகளை உருக்குவதற்கு எடி மின்னோட்ட வெப்ப விளைவை அடிப்படையாகக் கொண்ட மின்தூண்டல் உலைகள் (induction furnaces) பயன்படுகின்றன. அலைவிலா கால்வனாமீட்டரில் அலைவுகளை மட்டுப்படுத்தவும் எடி மின்னோட்டங்கள் பயன்படுகின்றன.

ஆனால், பல மின் கருவிகளில் எடி மின்னோட்டத்தைத் தடை செய்வது நன்மை பயப்பதாக அமைகிறது. மின்மாற்றியின் (transformer) உள்ளகங்கள், மின்னியற்றி, மோட்டார் ஆகியவற்றின் ஆர்மச்சூர்கள் (armatures of generators), ஆகியவை கனத்த இரும்பால் செய்யப்பட்டவை. மாறும் காந்தப்புலத்தால் இவற்றில் தோன்றும் எடி மின்னோட்டம் அதிக வெப்பத்தை உண்டாக்குவதோடு, மின்னாற்றலையும் அதிக அளவில் வீணாக்குகிறது. எனவே இம் மின் கருவிகளில் வார்னிசுப் பூச்சுக் கொண்ட காப்பிடப்பட்ட தகடுகளும் கம்பிகளும் பயன்படுத்தப்படுவதால் சுழல் மின்னோட்டம் வெகுவாகக் குறைக்கப்பட்டு மின்னாற்றல் இழப்பும் குறைகிறது.

374 டையா காந்தப் பொருட்கள் (Diamagnetic materials)

வெளிக் காந்தப்புலன் தன்னுள் ஊடுருவுவதை எதிர்க்கும் தன்மை கொண்ட பொருட்கள் எல்லாப் பொருள்களும் ஓரளவுக்கேனும் காந்தவியற் பண்பு கொண்டனவே ஆகும். காந்தவியற்பண்பை அடிப்படையாகக் கொண்டு பொருட்களை மூன்று வகையாகப் பிரிக்கலாம். அவை, 1. டையா காந்தப் பொருட்கள் (குறுக்கு காந்தப் பொருட்கள்), 2. பரா காந்தப் பொருட்கள் (இணை காந்தப் பொருட்கள்), 3. பெரோ காந்தப் பொருட்கள் (அய காந்தப் பொருட்கள்)

டையா காந்தப் பொருட்களை ஒரு காந்தப்புலத்தில் தொங்கவிட்டால் அவை மிகுந்த புலச் செறிவுள்ள பகுதியிலிருந்து குறைந்த புலச் செறிவுள்ள பகுதியை நோக்கிச் செல்லும். ஒரே தன்மையுள்ள காந்தப்புலத்தில் வைத்தால், இவ்வகைப் பொருட்கள் அந்தப் புலத்தில் சுழலத் துவங்கும். அவ்வாறு சுழலும் பொழுது அவற்றின் நீளமான அச்சு, காந்தப் புலத்தின் போக்கிற்குக் குறுக்காக நிற்பதால், குறுக்கு காந்தம் என்று கூறப்படுவதும் உண்டு. இவ்வகைப் பொருட்களின் காந்த ஏற்புத்திறன் வெப்பநிலையால் பாதிக்கப்படுவதில்லை. இவ்வகைப் பொருட்களுள் காந்த உட்புகு திறன் μ ஒன்றை (1) விடக் குறைவாக இருக்கும்.

$(\mu < 1)$ $\mu = B/H$ என்ற சமன்பாட்டில் B, Hஐ விடக் குறைவாக இருக்கும். ஒரு டையா காந்தத் திரவத்தை இரு காந்தத் துருவங்களின் இடையே ஒரு கண்ணாடிக் கிண்ணத்தில் (china dish) வைத்தால், நடுவில் குழியாக இருக்கும். எடுத்துக்காட்டு: பிஸ்மத், பாஸ்பரஸ், ஆன்டிமணி, வெள்ளி, தண்ணீர்.

375 தன் மின்தூண்டல் (Self induction)

ஒரு கம்பிச் சுருளின் வழியே பாயும் மின்னோட்டம் மாறும்போது உண்டாகும் காந்தப்பாயச் செறிவு மாற்றம் அதே கம்பிச்சுருளுடன் தொடர்பு கொண்டு தூண்டு மின்னியக்கு விசையை உண்டாக்கும் நிகழ்விற்குத் தன் மின்தூண்டல் என்று பெயர். ஒரு கம்பிச் சுருளின் வழியே மின்னோட்டம் பாயும்போது அதன் ஒவ்வொரு சுற்றிலிருந்தும் காந்த விசைக் கோடுகள் தோன்றுகின்றன. இவ்விசைக் கோடுகள் அவற்றை உண்டாக்கிய சுற்றுடன் மீதமுள்ள எல்லாச் சுற்றுக்களையும் வெட்டுகின்றன. கம்பிச் சுருளில் செல்லும் மின்னோட்டம் தனது பெருமமதிப்பை $(I = E/R)$ அடைய ஒரு நொடியின் இலட்சத்தில் ஒரு சில பங்கு நேரத்தையே எடுத்துக் கொள்கிறது. இச்சமயத்தில் உண்டாகும் காந்தப்புலச் செறிவு மாற்றம் அச்சுருளில் தூண்டுமின்னியக்கு விசையையும், தூண்டு மின்னோட்டத்தையும் உண்டாக்குகிறது. இம்மின்னோட்டத்தின் திசை இதனை விளைவித்த மின்னோட்டத்தின் திசைக்கு எதிராக அமைகிறது (லென்ஸ் விதி).

மின்னோட்டம் நிலையான மதிப்பை அடைந்தவுடன் காந்தப்பாயச் செறிவு நிலையாகித் தூண்டு மின்னியக்கு விசை சுழியாகி விடுகிறது. இப்போது மின்னோட்டத்தைத் தடை செய்தால் அது உடனே சுழியாகாமல் சிறிது நேரம் கழித்துத் தான் சுழியாகும். இப்போது உண்டாகும் தூண்டு மின்னோட்டம் கம்பிச் சுருளில் மின்னோட்டம் பாயும் திசையிலேயே செயற்பட்டு மின்னோட்டம் சுழியாவதைத் தாமதம் செய்யும் விதமாக அமைகிறது. எந்த ஒரு கணத்திலும் சுருளின் வழியாகப் பாய்கின்ற மின்னோட்ட அளவு I எனின், அதே கம்பிச் சுருளுடன் தொடர்பு கொண்ட காந்தப்பாயம் $(Q \alpha I)$, அல்லது $Q = LI$. இங்கு மாறிலியான L, 'தன் மின்தூண்டல் எண்' எனப்படுகிறது. தன்மின் தூண்டல் எண்ணின் SI அலகு Henry ஆகும்.

376 தூண்டல் மின்னியக்கு விசை (Induced EMF)

ஒரு கடத்தியின் வழியாக மின்னோட்டம் பாயும்பொழுது அதைச் சுற்றிலும் காந்தப்புலம் உண்டாவதை Oersted கண்டறிந்தார். இதற்கு நேர் எதிராக ஒரு

காந்தப்புலத்தை வைத்துக் கொண்டு ஒரு கடத்தியில் மின்னோட்டம் உண்டாக்க முடியும் என்பதை Faraday காட்டினார். நிலையாக வைக்கப்பட்டுள்ள மூடிய மின் சுற்றின் அருகே திடீரெனக் காந்தப்புலத்தை ஏற்படுத்தினாலோ அல்லது நீக்கினாலோ மின்சுற்றில் மின்னோட்டம் நிகழுகிறது. இவ்வாறு நிகழும் மின்னோட்டம் மூடிய சுற்றிற்கும் காந்தப்புலத்திற்குமிடையே சார்பியக்கம் இருக்கும்வரைதான் நீடிக்கின்றது. இதைப்போன்றே மூடிய கம்பிச் சுருளின் அருகில் மின்னோட்டம் கொண்ட மற்றொரு கம்பிச் சுருளை வைத்து அதில் மின்னோட்டத்தை நிறுத்தினாலோ அல்லது தொடங்கினாலோ இரண்டாவது சுற்றில் மின்னோட்டம் தூண்டப்படுவதைக் காண முடிகிறது. முதல் கம்பிச் சுருளில் மின்னோட்டம் ஏற்படுத்தப்படும்பொழுது அல்லது நிறுத்தப்படும்பொழுது ஏற்படும் காந்தப்புல மாற்றத்தினால் இரண்டாவது கம்பிச் சுருளில் மின்னியக்கு விசை தூண்டப்படுகிறது. இவ்வாறு ஒரு கம்பிச் சுருளில் பரவியுள்ள காந்தப்புல மாற்றத்தினால் மின்னியக்கு விசை தூண்டப்படுவதையே மின்தூண்டல் எனவும், அதனால் ஏற்படும் மின்னோட்டத்தைத் தூண்டல் மின்னோட்டம் என்றும், இதைச்சார்ந்த மின்னழுத்தத்தை தூண்டல் மின்னியக்கு விசை என்றும் அழைக்கிறோம்.

377 **தூண்டப்பட்ட மின்புலம்** (Induced electric field)

மாறுகின்ற காந்தப்புலத்தினால் உண்டாக்கப்படும் மின்புலம் தூண்டப்பட்ட மின்புலம் எனப்படுகிறது. பாரடே உருவாக்கிய விதியின்படி $(d\vec{B}/dt)$ என்ற வீதத்தில் காந்தப் பாய அடர்த்தி மாறும்போது தூண்டப்படும் மின்புலத்தின் வலிமை $\vec{E}$ எனில்,

$$\int \vec{E}.\vec{ds} = -\int_A \frac{d\vec{B}}{dt} \;.\; d\vec{A}$$

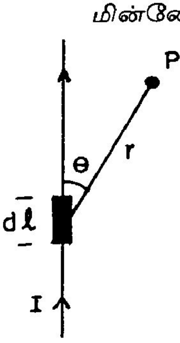
இங்கு $d\vec{S}$ என்பது $\vec{E}$–ன் பொதுவான திசையில் அமைந்த தொகையீட்டுப் பாதையின் ஒரு திசையின் கூறு. $\int \vec{E}.d\vec{S}$ என்பது இந்த மூடிய தொகையீட்டுப் பாதையில் தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசையாகும். A என்பது தொகையீட்டுப் பாதையை எல்லையாகக் கொண்ட பரப்பின் பரப்பளவு. dA என்பது அப்பரப்பின் ஒரு சிறிய திசையி கூறு. வலது கையின் விரல்கள் தொகையீட்டுப் பாதையை மூடுகிற வகையில் வளைந்துள்ளபோது கட்டை விரல் காட்டுகிற திசையில் dA–யின் திசை அமையும்.

378 **நகர்வுத் திசைவேகம்** (Drift velocity)

ஒரு மின்புலத்தில் ஒரு மின்துகளை வைக்கும்போது அதன்மேல் ஒரு விசை செயற்பட்டு அதை நகர்த்துகிறது. அவ்வாறு மின்துகள் நகர்த்தப்படுகிற திசைவேகம் நகர்வுத் திசைவேகம் எனப்படும். அலகு வலுவுள்ள மின்புலம் செலுத்தும் விசை காரணமாக மின்துகளில் தோன்றும் திசைவேகம் நகர்திறன் (mobility) எனப்படுகிறது. நகர்வுத் திசைவேகம் விசையின் திசையில் அமையும். குறைகடத்திகளில் மின் துகள்களின் நகர் திறன் பொதுவாக 10^2 முதல் 10^5 செ.மீ.^{2} / (விநாடி)(வோல்ட்) என்ற அளவில அமைகிறது. ஒரு பொருளின் மின்கடத்து திறன், மின் நகர்திறன், மின் துகள் செறிவு ஆகியவற்றின் பெருக்குத் தொகையாகும். சீராக ஏறியிறங்குகிற ஒரு மின்னழுத்தப்புலத்தில் எலக்ட்ரான்கள் தடங்கலின்றி முடுக்கப்படும். படிகத்துக்குள் உள்ள மாசுக்கள், அமைப்புப் பிழைகள், அணுக்களின் வெப்ப அதிர்வுகள் ஆகியவை மின்னழுத்தப்புலம் சீராக ஏறி இறங்குவதைத் தடை செய்யும். அதனால் மின் துகள்கள் வெவ்வேறு திசைகளில் சிதறியோடும். இத்தகைய சிதறல் காரணமாகத் தோன்றுகிற மின்தடை, செலுத்தப்படும் மின்புலம் உண்டாக்குகிற சீரான விசை காரணமாக உண்டாகும் நகர்வுத் திசைவேகம் மட்டுமே துகள்களுக்குக் கிடைக்குமாறு செய்து விடுகிறது.

379 *பயட் – சாவர்ட் விதி* (Biot - Savart Law)

மின்னோட்டம் பாயும் கடத்தியினால் அதனைச் சூழ்ந்துள்ள பகுதியில் ஏதேனும் ஒரு புள்ளியில் உண்டாகும் காந்தப் புலவலிமையினை பயட்–சாவர்ட் விதி மூலம் கணக்கிடலாம்.



மின்னோட்டம் பாயும் கடத்தியினை dl *நீளமுள்ள சிறு சிறு கூறுகளாகப் பிரிப்பதாகக் கொள்வோம். இச்சிறு கூறு ஒவ்வொன்றும் கடத்தியினைச் சூழ்ந்துள்ள எல்லாப் புள்ளிகளிலும் காந்தப்புலத்தைத் தோற்றுவிக்கும். இவ்வாறு ஒவ்வொரு பகுதியும் ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியில் தோற்றுவிக்கும் புலச்செறிவுகளைத் தொகுத்தால் அப் புள்ளியில் அக் கடத்தி முழுதும் ஒருங்கே தோற்றுவிக்கும் மொத்தப் புலச் செறிவு கிடைக்கும்.*

I *எனும் மின்னோட்டம் பாயும் கடத்தியின் மிகச்சிறிய* dl *எனும் நீளமுள்ள பகுதியிலிருந்து* r *எனும் தொலைவில் உள்ள* P *என்ற புள்ளியை எடுத்துக்கொள்வோம் (படம்). மின்னோட்டத் திசைக்கும்,* r*-க்கும் இடையேயுள்ள கோணம்* θ *என்க. பயட்–சாவர்ட் விதியின்படி* P*-இல்* dl *கூறினால் ஏற்படும் காந்தப்பு லம்,*

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I\, dl \sin\theta}{r^2}.$$

இதனை திசையியாகப் பின்வருமாறு எழுதலாம்:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{\vec{dl} \times \vec{r}}{r^3}.$$

இங்கு வெற்றிடத்தின் காந்த உட்புகுதிறன் $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ *ஹென்றி மீட்டர் ஆகும்.* $d\vec{B}$ *இன் திசையானது* $d\vec{l}$ *மற்றும்* $\vec{r}$ *இரண்டும் அமைந்த தளப்பரப்பிற்குச் செங்குத்தாக அமையும். இதன் திசையை வலதுகை திருகு விதியின் மூலம் காணலாம்.*

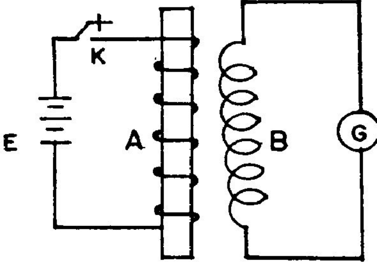
380 *பரா காந்தப் பொருட்கள்* (Para-magnetic materials)

வெளிக் காந்தப்புலன், தன்னுள் ஊடுருவதை ஏற்கும் பொருட்கள். பரா காந்தப்பொருள் காந்தப்புலத்தினால் (குறைவாக) ஈர்க்கப்படுகிறது. காந்தப்புலத்திலிருந்து குறைவான காந்த சக்தியையே ஏற்றுக் கொள்கிறது. காந்தப்புலத்தின் திசையும், காந்த அச்சின் திசையும் ஒன்றாக இருக்கும். ஒரு சீ ரான காந்தப்புலத்தில் இவ்வகைப் பொருட்கள் சுழலும்பொழுது இவற்றின் நீள்மான அச்சு காந்தப்புலத்திற்கு இணையாக விளங்கும். சீ ரற்ற (non uniform) *காந்தப்புலத்தில் தொங்கவிட்டால் குறைந்த புலச் செறிவுள்ள பகுதியிலிருந்து மிகுந்த செறிவுள்ள பகுதி நோக்கித் திரும்பும். அதனால் இதற்கு இணைகாந்தம் என்ற பெயரும் உண்டு. பரா காந்த ஏற்புத் திறன், வெப்ப நிலை அதிகமானால் குறையும். இவற்றிற்குக் காந்த உட்புகு திறன் ஒன்றை விட அதிகமாக இருக்கும்* ($\mu > 1$). *ஒரு பரா காந்தத் திரவத்தைக் காந்தத் துருவங்களுக்கு இடையே வைத்தால் நடுவில் உயரமாக இருக்கும். எடுத்துக்காட்டு : மாங்கனீஸ், அலுமினியம், சோடியம், பிளாடினம், ஆக்ஸிஜன்.*

381 *பரிமாற்று மின்தூண்டல்* (Mutual induction)

ஒன்றுக்கொன்று நெருக்கமாக உள்ள இரு கம்பிச் சுருள்களில் ஏதேனும் ஒன்றில் மின்னோட்டம் மாறும்போது தோன்றும் காந்தப்பாயச் செறிவு மாற்றம், மற்றொன்றில்

மின்னியக்குவிசையைத் தூண்டுகிறது. இதையே பரிமாற்று மின்தூண்டல் என்றழைக்கிறோம்.



படத்தில் கம்பிச்சுருள் A, மின்கலம் E, சாவி K ஆகியன தொடராக இணைக்கப்பட்டுள்ளன. கம்பிச்சுருள் B, ஒரு கால்வனா மீட்டருடன் (G) இணைக்கப்பட்டுள்ளது. A-இல் மின்னோட்டம் செல்லாதபோது காந்தவிசைக் கோடுகள் உருவாகாது. ஆனால், K-ஐ இணைத்தவுடன் A-இல் உருவாகும் காந்த விசைக்கோடுகளின் செறிவு B-ஐ வெட்டியபடி வளர்கிறது. இதனால் B-இல் உருவாகும் தூண்டு மின்னியக்கு விசை கால்வனா மீட்டரில் விலக்கத்தை ஏற்படுத்துகிறது. மின்னோட்டம் அதன் பெருமமதிப்பை (I = E / R) அடைந்த பின், காந்தப்பாயம் நிலையாகி விடுவதால் B-இல் மின் தூண்டல் இருக்காது. மின் இணைப்பைத் துண்டித்தால் A-இல் மின்னோட்டம் பெருமளவிலிருந்து குறைகிறது. இதனால் காந்த விசைக்கோடுகளின் செறிவும் குறைவதோடு, B-ஐ எதிர்த் திசையில் வெட்டி எதிர் மின்னியக்கு விசையைத் தூண்டுவதால் G-இல் முள் முன்பு விலகிய திசைக்கு எதிர்த் திசையில் விலகுகிறது. இச்சோதனையை மின்கலம் E-க்கு பதிலாக மாறுமின்னோட்டத்தை இணைத்தும் செய்யலாம்.

எந்த ஒரு கணத்திலும் A சுருளின் மின்னோட்டம் I எனின், B-யுடன் தொடர்பு கொண்ட காந்தப்பாயம் $Q \propto I$ அல்லது $Q = MI$. இங்கு M என்ற மாறிலி பரிமாற்று மின்தூண்டல் எண் என்று அழைக்கப்படுகிறது. இம் மின்தூண்டலின் SI அலகு Henry ஆகும்.

382 பாய்சான் சமன்பாடு (Poisson's equation)

காஸ் விதியை வகையீட்டு வடிவத்தில் (differential form)

$$\vec{\nabla}.\vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0}\rho \qquad (1)$$

என எழுதலாம். $\vec{E}$–மின்புலச் செறிவு, ε_0–வெற்றிடத்தின் உட்புகுதிறன், ρ–மின்னூட்ட அடர்த்தி (charge density) மின்புலச் செறிவிற்கும், மின்னழுத்தத்திற்குமுள்ள (V) சரிவுத் தொடர்பு (gradient relation)

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V \qquad (2)$$

(1)யும் (2)யும் இணைத்து

$\vec{\nabla}.\vec{\nabla}V = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$ என எழுதலாம்.

அதாவது $\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$; $\left(\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)$

இச்சமன்பாடு பாய்சான் சமன்பாடாகும்.

383 பாயின்டிங் திசையி (Poynting's vector)

பாயின்டிங்ன் திசையியின் வெளிநோக்கிய நேர்குத்து ஆக்கக் கூறை ஒரு மின்காந்தப் புலத்தில் உள்ள ஒரு மூடிய பரப்பின் மேலாகத் தொகையீடு செய்தால், அது

அந்தப் பரப்பின் மூலமாக வெளிநோக்கிப் பாய்கிற ஆற்றலின் அளவைக் குறிப்பிடும். அதைப் பின்வரும் சமன்பாட்டினால் குறிக்கலாம்.

$$\vec{\pi} = \vec{E} \times [\vec{H} - \mu^{-1} \vec{B}]$$

இதில் $\vec{E}$ என்பது மின்புலவலிமை, $\vec{H}$ என்பது காந்தப்புலவலிமை, $\vec{B}$ என்பது காந்தப்பாய அடர்த்தி, μ என்பது உட்புகுதிறன். குவாண்டம் கொள்கையில் ஒரு பரப்பின் மேலாக போட்டான்களின் புள்ளியியல் பரப்பீட்டைக் குறிப்பதாகப் பாயின்டிங் திசையி அமைகிறது. பாயின்டிங் திசையி பொதுவாக ஒரு பரப்பின் ஒரு சிறுபகுதி வழியே பாயும் ஆற்றலைக் கணக்கிடப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. கடத்துகிற அல்லது உட்கவறுகிற ஒரு பரப்பின்மேல் ஒரு மின்காந்த அலை படும்போது, அது அந்தப் பரப்பின்மேல் பாயின்டிங் திசையியின் திசையில் அமைந்த ஒரு விசையைச் செலுத்தும்.

384 பாரடே தூண்டல் விதி (Faraday's law of induction)

ஒரு காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்பட்ட கம்பிச்சுருளில் காந்தப்புல மாற்றம் அடையும்பொழுது அச்சுருளில் மின்னோட்டம் தூண்டப்படுகிறது. இவ்வாறு தூண்டப்படும் மின்னோட்டத்தின் மின்னியக்கு விசையைக் காண பாரடேயின் விதி பயன்படுகிறது. ஒரு கடத்தி இருக்கும் வழியே பாயும் காந்தப்புலத்தின் பாயம் φ எனக் கொண்டால், அதில் ஏற்படும் மாற்றத்தினால் தூண்டப்படும் மின்னியக்குவிசை e ஆனது, அந்தக் காந்தப்புல மாற்றத்திற்கு நேர்தகவில் அமையும். இதுவே பாரடே விதியாகும். இதன்படி $e \alpha -\frac{d\varphi}{dt}$. எதிர்க்குறியானது தூண்டல் மின்னியக்குவிசை காந்தப்புல மாற்றத்திற்கு எதிர்திசையில் அமைந்திருப்பதைக் குறிக்கிறது. காந்தப்புல மாற்ற வெபர்/விநாடி (Weber /sec) என்ற அலகில் அளக்கப்படும்பொழுது தூண்டுமின் இயக்குவிசை வோல்ட்களில் பெறப்படுகிறது. எனவே இவ்வலகுகளில் e = – (df/dt) ஆகும்.

385 புவியின் காந்தப்புலம் (Earth's magnetic field)

புவி இரண்டு துருவங்களுக்கு அருகில் முனைகளைக் கொண்ட ஒரு மாபெரும் காந்தத்தைப் போலச் செயற்பட்டுக் காந்த ஊசிகளை வடக்கு தெற்காகத் திருப்பி வைக்கிறது. புவியின் காந்தத் தன்மையால் அதைச் சுற்றிலும் பரவியுள்ள காந்தப்புலம் புவியின் காந்தப்புலம் எனப்படுகிறது. ஓரிடத்தில் கிடையாகச் சுழலும்படி பொருத்தப்பட்ட ஒரு காந்த ஊசியின் அச்சு, காந்தப்புலத்தின் திசைக்கு இணையாக அமையும். அனைத்து இடங்களிலும் காந்தப்புலத்தின் திசை தரைப் பரப்புக்கு இணையாக அமையாது. ஒரு கிடையான அச்சைச் சுற்றி, வடக்கு தெற்காய் அமைந்த ஒரு தளத்தில் சுழலும்படி பொருத்தப்பட்ட காந்த ஊசியின் அச்சுத் திசைக்கும், கிடைத்தளத்திற்கும் இடையிலுள்ள கோணம், சரிவுக் கோணம் (dip) எனப்படும். புவியின் காந்தப்புலம் உண்மையான வடக்கு தெற்குத் திசையிலும் அமையாது. காந்தப்புலத்தின் திசைக்கும், உண்மையான வடக்கு தெற்கு திசைக்கும் இடையிலான கோணம் விலக்கக் கோணம் (declination) எனப்படுகிறது. புவியின் வட பாதியில் சரிவுக் கோணம் நேரினமாகவும், தென் பாதியில் எதிரினமாகவும் கணக்கிடப்படுகிறது. துருவங்களில் சரிவுக் கோணம் $\pm 90°$.

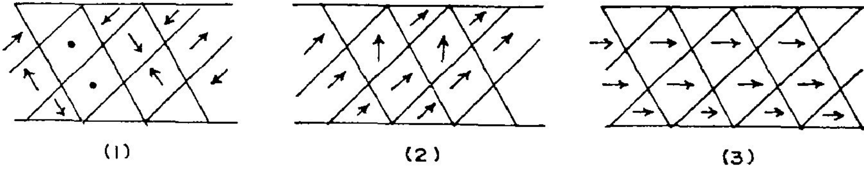
386 புறப்பரப்பு விளைவு (Skin effect)

ஒரு கடத்தியின் வழியே செல்லும் மாறுதிசை மின்னோட்டம் உருவாக்கும் தூண்டு மின்னியக்கு விசையின் விளைவால் கடத்தியின் உட்பகுதிகளைவிட அதன் மேற்பரப்பில் மின்னோட்டம் அதிக அளவு பாய்கிறது. இந்நிகழ்விற்குப் புறப்பரப்பு விளைவு என்று பெயர்.

கடத்தியின் வழியே மாறுதிசை மின்னோட்டம் பாயும்போது உருவாகும் காந்தப் புலம் ஒவ்வொரு சுற்றின் போதும் தொடர்ந்து அளவிலும் திசையிலும் மாறுபடுகிறது. இதற்கேற்றவாறு கடத்தியில் தூண்டு மின்னியக்கு விசை (பின் மின்னியக்கு விசை) அமைகிறது. கடத்தியின் புறப்பகுதிகளை ஒப்பிடும்போது அதன் உட்பகுதிகளில் காந்தப்புலம் அதிகச் செறிவுடன் பரவியுள்ளதால் தூண்டு மின்னியக்கு விசையும் அதிகமாக இருக்கும். இத்தூணடு மின்னியக்கு விசை அப்பகுதிகளின் வழியே பாயும் மின்னோட்டத்தைத் தடை செய்யும் விதமாக செயற்படுகிறது. எனவே கடத்தியின் தடை குறைவான புறப்பரப்பு வழியே அதிக மின்னோட்டம் செல்கிறது. மேலும் மாறுதிசை மின்னோட்டத்தின் அதிர்வெண் அதிகமாக இருப்பின் கடத்தியின் உட்பகுதி வழியே செல்லும் மின்னோட்டத்திற்குத் தடை அதிகமாகி புறப்பரப்பு வழி செல்லும் மின்னோட்ட அளவு அதிகமாகிறது. எனவே, உயர் அதிர்வெண் மாறுதிசை மின்னோட்டம் பாயும் கடத்திகளின் உட்பகுதிகள் பயனற்றதாகி விடுவதால் அவை குழாய் அமைப்பில் (form of tube) வடிவமைக்கப்படுகின்றன.

387 பெரோ காந்தச் செறிவுப் பெருங்கூறு (Ferromagnetic domains)

ஒரு திசை தெவிட்டுநிலை, காந்தத் திருப்புதிறன் கொண்ட செறிவுப் புலக்களம். கியூரி வெப்பநிலைக்குக் கீழே பெரோ காந்தப் பொருட்களின் எலெக்ட்ரான்களின் காந்தத்



திருப்புதிறன் மிகமிகச் சிறிய புலங்களில் ஒரே திசையில் சீராக அமைந்துள்ளன. ஆனால் அப்பொருளின் முழுக் காந்தத் திருப்புதிறன் தெவிட்டுநிலை திருப்புதிறனை விட மிகவும் குறைவாக இருககும். அதன் காந்தத் திறனை, தெவிட்டு காந்தத் திறன் அளவிற்கு உயர்த்துவதற்கு ஒரு வெளிக் காந்தப்புலம் தேவைப்படும். வலிமை குறைந்த புலங்களில் செறிவுப் புலங்களின் கன அளவு அதிகரித்து ஒரே திசையில் அமைகின்றன. வலிமையான காந்தப் புலங்களில், அந்தப் புலத்தின் திசையை நோக்கிக் காந்தமாக்கச் செறிவு திரும்புகின்றது. காந்தச் செறிவுப் புலப் பெருங்கூறு அமைப்பு (domain structure) பெரோ காந்தப் பொருட்களின் பண்புகளைப் பாதிக்கின்றது

இங்குள்ள படங்கள் காந்தப் புலங்களின் அமைப்பை விளக்குகின்றன. படம் 1-ல் காநதமாக்கப்படாத இருப்பில் எலெக்ட்ரான்களின் காந்தத் திருப்புதிறன் வெவ்வேறு திசைகளில் உள்ளன. படம் 2-ல் வெளி காந்தப் புலத்தினால் ஓரளவு காந்தச் செறிவு திரும்புகின்றது. படம் 3-ல் அனைத்துக் காந்தப்புலங்களும் ஒரே திசையில் அமைந்துள்ளன. பெர்ரோ காந்தப் பொருட்களின் இயற்பியல் பண்புகளை விளக்க வெயிஸ் (Weiss) என்ற அறிஞர், இந்தச் செறிவுப் புலப் பெருங்கூறு அமைப்பை முன் வைத்தார்.

388 பெரோ மின்னியல் (Ferroelectricity)

புற மின்புலம் செயற்படாதிருக்கும் பொழுதும் ஒரு சில மின்கடத்தாப் பொருட்கள் தன்னிகழ்வு முனைவாக்கம் பெற்றிருக்கின்றன. அதாவது இத்தகைய பொருட்களில் நேர்மின்னூட்ட மையமும், எதிர் மின்னூட்ட மையமும் ஒன்றோடொன்று பொருந்துவதில்லை. இத்தகைய பொருட்கள் ஃபெரோ மின்னியல் பண்புடையவை.

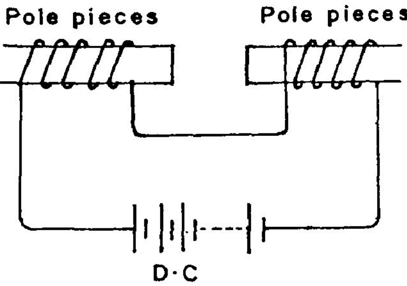
அப்பொருட்கள் பெரோ மின் பொருட்கள் என்று அழைக்கப்படுகின்றன. மின் கடத்தா பொருளின் மின்கடத்தா மாறிலி (dielectric constant) வெப்பநிலையைப் பொறுத்து மாறுதல் அடையும். அதாவது ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையில் இது ஃபெரோ மின்தன்மையை இழந்து விடுகிறது. இந்த வெப்பநிலைக்கு கியூரி வெப்பநிலை T_c என்று பெயர். கியூரி வெப்பநிலைக்குக்கீழ் ஃபெரோ மின் பொருட்கள் பாரா மின்பொருட்களாக மாறிவிடுகின்றன. இந்தப் பெரோ மின்பொருட்கள் மின்தயக்க விளைவுகளை (Hysteresis effect) உடையனவாய் இருக்கின்றன. ஃபெரோ மின் பொருட்களில் தன்னிச்சை முனைவாக்கம் கொண்ட பல பெருங்கூறுகள் (domains) அமைந்திருப்பதே அப்பொருட்களின் பண்புகளுக்குக் காரணமாகும் என்று கூற முடியும்.

389 மின்கடத்தாப்பொருள் (Dielectric)

ஒரு சில பொருட்கள் நிலை மின்புலத்தில (electrostatic field). மின்னோட்டத்தைத் தருவதற்குப் பதிலாக, மின் இரு முனைகளை (dipole moment) உருவாக்குகின்றன. இத்தகைய பண்புடைய பொருட்களை மின்கடத்தாப் பொருட்கள் என்பர். பொருட்கள் நேர்திசை மின்னழுத்தின் (direct-curve voltage) கீழ் மின்னோட்டம் செல்வதை வலுவாக எதிர்க்கின்றன. கண்ணாடி, மரத்துண்டு போன்ற பொருட்களை இதற்கு எடுத்துக்காட்டாகக் கூறலாம். இப்பொருட்கள், மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத் திறனை அதிகரிக்க உதவுகின்றன.

390 மின்காந்தம் (Electromagnet)

மின்னோட்டம் கொண்டு தற்காலிகக் காந்தப் புலம் தரும் கருவி. சோதனைகளுக்கும், ஆய்வுகளுக்கும் மிக அதிகச் செறிவுள்ள காந்தப் புலங்கள் தேவைப்படுகின்றன. ஆனால் நிலை காந்தங்களினால் மிக அதிக செறிவுள்ள காந்தப் புலங்களை அதிகப் பரப்பளவில் உண்டாக்க முடியாது. இத்தகைய மிக அதிகச் செறிவுள்ள காந்தப் புலங்களை மின்காந்தங்கள் உண்டாக்குகின்றன. இரண்டு இரும்பு உலோகத் தண்டுகளின் மீது காப்பிட்ட கம்பிகளில் ஒரு திசை மின்னோட்டம் பாய்ச்சினால் இரும்புத் துண்டுகளின் இடைப் பட்ட வெளியில் வலிமையான காந்தப் புலம் ஏற்படும். மின்னோட்டத்தை அதிகரிக்க, காந்தப்புலத்தின் செறிவும் அதிகரிக்கும். மின் காந்தமுனை தயாரிக்கத் தேவையான பொருட்பொருள், 1) குறைந்த காந்த செறிவிலும் மிக அதிக காந்த தூண்டல் ஏற்படுத்தும் பொருளாகவும், 2) குறைந்த தயக்க நிலை இழப்பு உள்ளனதாகவும், 3) அதிகத் தொடக்கக் காந்த உட்புகுதிறன் உடையதாகவும் இருக்க வேண்டும். இப்பண்புகள் பொதுவாகத் தேனிரும்பில் உள்ளன. எனவே, ஆர்மெச்சூர் (armature) அச்சு மற்றும் மின்மாற்றிகளில் (transformer) தேனிரும்பு பயன்படுத்தப்படுகிறது.



391 மின்புலம் (Electric field)

ஒரு வெளியில் ஒரு மின்னை வைத்தால், அதைச் சுற்றிலும் மின்விசை பரவி விடுகிறது. அந்த மின்விசை பரவியுள்ள இடவெளி மின்புலம் எனப்படும். அந்த இடவெளிக்குள் மின்னின் விசையை உணர முடியும். ஒரு புள்ளியில் ஒரு மின்னை வைக்கும்போது அதன் மேல் ஒரு மின்விசை செயற்படுமானால், அந்தப் புள்ளியில் ஒரு

மின்புலம் பரவியுள்ளது எனலாம். மின்னூட்டப்பட்ட எல்லாப் பொருட்களையும் சுற்றி மின்புலம் தோன்றும்.

ஒரு புள்ளியில் ஓரலகு மின்னின்மேல் செயற்படும் மின்விசை, அப்புள்ளியில் மின்புலத்தின் வலிமை என வரையறுக்கப்படுகிறது. மின்புலவலிமை அளவும், திசையும் கொண்ட திசையி ஆகும். ஒரு புள்ளியைச் சுற்றி பெருமளவான புள்ளி மின்கள் பரவியிருக்கும்போது, அப்புள்ளியில் உள்ள மின்புலத்தின் மொத்த வலிமை, ஒவ்வொரு புள்ளி மின்னாலும் அந்தப் புள்ளியில் தோற்றுவிக்கப் படுகிற தனித்தனியான மின்புல வலிமைகளின் திசையி கூட்டுத் தொகைக்குச் சமம் ஆகும். இதை மேற்பொருத்தல் தத்துவம் (principle of super position) என்பர். அனைத்துலக அலகு முறையில், மொத்த மின் புலவலிமை,

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{n}\frac{q_i}{r_i^2}.$$

இதில் ε_0, 8.85×10^{-12} கூலும்^{2}/ நியூட்டன்-மீட்டர்^{2} என்ற மதிப்புள்ள வெற்றிடத்தின் அனுமதிப்பு ஆகும். மின்புல வலிமை நியூட்டன்/கூலும், வோல்ட்ஸ்/மீட்டர் ஆகிய அலகுகளில் அளவிடப்படுகிறது.

மாறுகின்ற காந்தப் புலங்களும் மின்புலத்தை தோறறுவிக்கும். காந்தப் பாய அடர்த்தி ($d\vec{B}/dt$) என்ற வீதத்தில் மாறும்போது $\vec{E}$ என்னும் மின்புலம் தோன்றுமானால்,

$$\int \vec{E}.d\vec{s} = -\int_A \frac{d\vec{B}}{dt}\ .\ d\vec{A}$$

இதில் $d\vec{s}$ என்பது மின்புலத்தின் திசையிலுள்ள ஒரு பாதைக் கூறு $\int \vec{E}\,.\,d\vec{s}$ என்பது மூடிய தொகையீட்டுக் கண்ணியின் உள்ளே தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசை. A என்பது அந்தக் கண்ணியின் பரப்பளவு. $d\vec{A}$ என்பது அதில் ஒரு சிறிய கூறு. வலது கையின் விரல்கள் தொகையீட்டுப் பாதையின் மேல் வளைந்திருக்கும்போது கட்டை விரல் காட்டும் திசையே $d\vec{A}$-ன் திசையாகும்.

392 மின்மறுப்பு (Inductance)

ஒரு கம்பிச் சுருளில் தோன்றும் தூண்டுமின்னியக்கு விசை அதில் பாயும் மின்னோட்டம் பெரும அளவிற்கு வளர்வதையும், குறைந்து சுழியாவதையும் எதிர்க்கும் வண்ணம் அமைகிறது. கம்பிச் சுருளின் இப்பண்பை மின்மறுப்பு, மின்நிலைமம், மாறுமின் தூண்டுதடை என்ற பெயர்களில் குறிப்பிடுவர்.

கம்பிச் சுருளின் வழியே பாயும் நேர்மின்னோட்டம் அதன் பெரும அளவை ($I = E/R$) அடையச் சிறிது நேரம் எடுத்துக் கொள்கிறது என்பதைச் சோதனைகள் தெளிவாகக் காட்டுகின்றன. கம்பிச் சுருளின் மின் மறுப்பினை L என்றும், மின்னோட்டம் மாறும் விகிதத்தை ($\Delta I/\Delta t$) என்றும் கொண்டால், தூண்டு மின்னியக்கு விசை, அல்லது பின் மின்னியக்கு விசை E_c (back emf) யைக் கீழ்வரும் சமன்பாட்டின் மூலம் கணக்கிடலாம்.

$$E_c = L\left(\frac{\Delta I}{\Delta t}\right)$$

அதாவது சுருளில் மின்னோட்டம் வளரும்போது தோன்றும் பின் மின்னியக்கு விசை, சுருளில் பாயும் மின்னோட்டத்திற்கு எதிர்த்திசையில் செயற்பட்டு மின்வளர்ச்சியைத் தாமதப் படுத்துகிறது. மின்னோட்டம் அதன் ஓம் விதி மதிப்பினை ($I = E/R$) பெற்றதும், ($\Delta I/\Delta t$) சுழியாகி, E_c மறைந்து விடும். மின்னோட்டம் தடை

செய்யப்படும்போது (ΔI/Δt) எதிர்க் குறியைப் பெறுவதால் E_c மின்னோட்டத் திசையில் செயற்பட்டு மின்னோட்டம் சுழியாவதைத் தாமதப்படுத்துகிறது. மாறுமின்னோட்டம் பாயும்போதும் இச்செயற்பாடு காணப்படுகிறது. மின்மறுப்பு அதிகமாக இருப்பின் மின்னோட்ட வளர்ச்சியும், சுழியாதலும் அதற்கேற்றவாறு அதிகம் தாமதப்படும். ஒரு கம்பிச் சுருளின் மின்மறுப்பானது சுருளின் அளவு, வடிவம் (shape), சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கை, உள்ளகம் ஆகியவற்றைப் பொறுத்துள்ளது.

தூண்டு மின்னியக்கு விசை ஒரு வோல்ட்டாகவும், மின்னோட்ட வளர்ச்சித் தகவு (ΔI/Δt) ஓர் ஆம்பியர்/விநாடியாகவும் இருக்கும் போது கம்பிச் சுருளின் மின்மறுப்பு ஒரு ஹென்றி என வரையறுக்கப்படுகிறது.

393 மின்மானி (Electrometer)

நேர் அல்லது மாறுதிசை மின்னழுத்த வேறுபாட்டை அளப்பதற்கும், மின்கடத்தா ஊடகங்களின் சார்பு உட்புகு திறனை (relative permitivity) அளப்பதற்கும் பயன்படும் கருவி.

மின்னூட்டம் பெற்ற ஒரு கடத்தியில் மின்புலம் செயல்படும்போது திருப்புவிசை ஏற்படுகிறது என்னும் அடிப்படைத் தத்துவம் மின்மானியில் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

மின்மானி விலகுவகை (Repulsive type), ஈர்ப்பு வகை (Attractive type) மற்றும் சமச்சீர்வகை (Symmetric type) என மூன்று வகைப்படும்.

மின்மானி, ஒரு மின்சுற்றில் உள்ள அலை வடிவங்கள், அவற்றின் அதிர்வெண்கள் போன்றவற்றைச் சார்ந்து செயல்படுவதில்லை. எனினும் மிகுந்த நிறை, குறைந்த திருப்பு விசை போன்ற குறைகள் இதற்கு உண்டு.

394 மின்மோட்டார் (Electric Motor)

மின்னாற்றலை எந்திர ஆற்றலாக மாற்றும் அமைப்பே மின்மோட்டார் ஆகும். காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்படும் கம்பிச் சுருளில் மின்னோட்டம் பாயும்போது அதன்மீது விசை ஒன்று செயற்படுகிறது. காந்தப்புலமும் கடத்தியும் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக அமையும்போது, இவ்விசை அவ்விரு திசைகளுக்கும் செங்குத்தாக அமையும். கம்பிச் சுருள் ஒன்று காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்படும்போது அதன் இருபுறங்களிலும் மின்னோட்டம் எதிர்த் திசைகளில் பாயும் காரணத்தினால் அவற்றின்மீது செயற்படும் விசைகள் ஒன்றுக்கொன்று சமமாகவும், ஒன்றுக்கொன்று நேர் எதிர் திசைகளில் அமைந்தும் அக்கம்பிச் சுருளைச் சுழற்றும். இதுவே மின் மோட்டாரின் அடிப்படைத் தத்துவமாகும். ஆற்றல் மிக்க மின்மோட்டார்களில் காந்தப்புலமானது மின்காந்தங்களால் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. இதற்குத் தேவையான மின்னோட்டமும், நடுவில் சுழலும் கம்பிச் சுருளுக்குத் தேவையான மின்னோட்டமும் ஒரே மூலத்திலிருந்து வழங்கப்படுகின்றன. இவ்விரு மின்சுற்றுகளும் தொடர் இணைப்பு, பக்க இணைப்பு, தொகுப்பு இணைப்பு என மூன்று வகைகளில் இணைக்கலாம்.

395 மின்னழுத்தம் (Electric potential)

இயல்பு வளியில் ஓரலகு நேர்மின்னூட்டம் வைக்கப்படும்பொழுது, அதனருகில் ஒரு புள்ளியில் அம்மின்னூட்டத்தினால் ஏற்படும் மின்புலத்தைக் கருதுவோம். மின்னூட்டத்திலிருந்து அப்புள்ளியிருக்கும் தொலைவைப் பொறுத்து மின்புலச் செறிவு மாறுபடும். தொலைவு அதிகரிக்கும்பொழுது, மின்புலச் செறிவு குறைந்து, ஒரு குறிப்பிட்ட தூரத்திற்கப்பால் மின்புலச் செறிவு சுழியாகக் குறைந்துவிடும். அத்தூரத்திற்கப்பால் உள்ள ஒரு புள்ளியை நாம் ஈறிலாத் தூரத்திலுள்ள புள்ளியாகக் கருதுகிறோம். ஈறிலாத்

தூரத்திலிருந்து ஓரலகு நேர்மின்னூட்டத்தை, ஒரு நேர் மின்னூட்டத்தினாலேற்படும் புலத்திலுள்ள ஒரு புள்ளிக்கு கொணரும்பொழுது அப்புலத்தினாலேற்படும் விலக்கு விசையைச் செயலற்றுப் போகச் செய்வதற்குக் குறிப்பிட்ட வேலை செய்யவேண்டும். அவ்வேலை அந்த ஓரலகு மின்னூட்டத்தில் ஆற்றலாகச் சேமித்து வைக்கப்படுகிறது. ஓரலகு நேர்மின்னூட்டத்தை ஈறிலாத் தூரத்திலிருந்து மின்புலத்திலுள்ள ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளிக்கு எடுத்து வரும்பொழுது செய்யப்படும் வேலையே அப்புள்ளியில் அப்புலத்தினால் ஏற்படும் மின்னழுத்தமாகும். ஓரலகு நேர் மின்னூட்டத்தை ஈறிலாத் தூரத்திலிருந்து ஒரு புள்ளிக்கு எடுத்து வரும்பொழுது செய்யப்படும் வேலை ஒரு ஜூலானால் (1 Joule) அம் மின்புலத்திலுள்ள அப்புள்ளியிலுள்ள மின்னழுத்தம் ஒரு வோல்ட் (1 volt) ஆகும்.

396 **மின்னழுத்தமானி** (Potentiometer)

மின்னழுத்த வேறுபாடுகளைத் துல்லியமாக அளவிடப் பயன்படும் கருவியே மின்னழுத்தமானியாகும். இக்கருவி போகன்டார்ப் என்பவரால் வடிவமைக்கப்பட்டது. மின்னியலில் பல்வேறு அளவீடுகள் செய்வதற்கும் இது பயன்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, மின்தடைகளை அளக்கவும், ஒப்பிடவும், மின்னோட்டங்களை அளக்கவும், வெப்ப மினனியக்கு விசைகளை அளக்க மைக்ரோ வோல்ட் மீட்டராகவும் இதனைப் பயன்படுத்தலாம். இது, ஒரே சீரான 10 மீட்டர் நீளம் கொண்ட அதிக மின்தடை எண்ணும் (large specific resistance) மிகக் குறைந்த வெப்ப மின்தடை எண்ணும் (low temperature coefficient of resistance) கொண்ட கான்ஸ்டன்டன் அல்லது மாங்கனின் கம்பியால் ஆனது. இக்கம்பி, ஒவ்வொன்றும் 1 மீட்டர் நீளமுள்ளவையாகப் பத்து வரிசையில் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக ஒரு மரப் பலகை மீது கம்பியின் இரு நுனிகளும் ஒரே பககத்தில இருக்கும் வண்ணம் இரு பிணைப்புத் திருகுகளுடன் சேர்க்கப்பட்டிருக்கும். அடுத்தடுத்த இரு கம்பிகளின் அருகில் முனைகள் சிறிய தடித்த செப்புப் பட்டையால் இணைக்கபபட்டிருககும். தேவையான கம்பி மீது தேவையான புள்ளியில் தொடர்பு ஏற்படுத்த ஒரு நகரும இணைப்பு உள்ளது. கம்பிக்கு இணையாக உள்ள மீட்டர் அளவுகோல் நேரடியாக அளவுகள் எடுக்கப் பயன்படுகிறது. நிலையான மின்னோட்டத்திற்கு கம்பியில் ஏற்படுகின்ற மின்னழுத்தக் குறைவு கம்பியின் நீளத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். விலகல் கருவிகளைக் கொண்டு பெறப்படும் துல்லியமான அளவுகளைக் காட்டிலும அதிக துல்லியம் வேண்டப்படும் இடங்களில் மின்னழுத்தமானி மிகவும் பயன்படுத்தப்படுகின்றது.

397 **மின்னாக்கி** (Electric generator)

எந்திர ஆற்றலை மின்னாற்றலாக மாறறும் ஒரு சாதனமே மின்னாக்கி ஆகும். ஒரு காந்தப்புலத்தில் ஒரு கம்பிச் சுருள் வைக்கப்பட்டு அக்காந்தப்புலச் செறிவு மாறும்போது அச்சுருளில் மின்னோட்டம் தூண்டப்படுகிறது. இதைக் காந்தப்புலத்திற்கும் கம்பிச் சுருளுக்கும் இடையே ஏற்படும் ஒப்புமை இயக்கத்தினால் பெற முடியும். இதற்கு நிலையான காந்தப்புலத்தில் சுழலும் கம்பிச் சுருளையோ அல்லது நிலையான கம்பிச் சுருளுடன் சுழலும் காநதப்புலத்தையோ பயன்படுத்த முடியும். குறைந்த திறம் கொண்ட மின்னாககிகளில் பெரும்பாலும் இரண்டாவது வகையே பயன்படுத்தப்படுகிறது. முதல் வகை மின்னாக்கியில் காந்தப்புலத்தை, உருவாக்குவதற்கு மின்காந்தங்கள் பயன்படுகின்றன. இம் மின்காந்தங்களுக்குத் தேவையான மின்னோட்டத்தை அவை மின்னாக்கியிலிருந்தே பெறுமாறு அமைக்கப்படுகிறது. இவ்வமைப்பில் கம்பிச் சுருளும் மின்காந்தச் சுருளும் (1) தொடர் இணைப்பு, (2) பக்க இணைப்பு, (3) பகுதி தொடர்–பகுதி பக்கம் எனப்படும் தொகுப்பிணைப்பு ஆகிய மூன்று வகை இணைப்புகளில் இணைக்கலாம்.

398 மின்னோட்டம் (Electric Current)

ஒரு கடத்தியிலுள்ள மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்களின் ஓட்டமே மின்னோட்டம் எனப்படுகிறது. ஒரு கடத்தியில் A என்ற புள்ளியிலிருந்து B என்ற மற்றொரு புள்ளிக்கு மின்னோட்டம் செல்ல வேண்டுமென்றால் A என்ற புள்ளி B என்ற புள்ளியை விட உயர்ந்த மின்னழுத்த நிலையில் இருக்க வேண்டும். தண்ணீர் மேட்டிலிருந்து பள்ளத்திற்குப் பாய்வதை போல, மின்னோட்டம் உயர்ந்த மின்னழுத்த நிலையிலுள்ள புள்ளியிலிருந்து குறைந்த மின்னழுத்த நிலையிலுள்ள புள்ளிக்குப் பாயும்.

கடத்தியின் வழியே பாய்ந்து செல்லும் துகளின் மின்னூட்டம் Q என்றால் Q-ஆனது, அக்கட்டத்தில் பாயும் மின்னோட்டம் I மற்றும் அக்கடத்தியின் வழியே மின்னூட்டம் பாயும் காலம் t (வினாடி) ஆகிய இரண்டின் பெருக்குத் தொகைக்குச் சமமாகும். அதாவது,

$$Q = It$$ ஆகும்.

இங்கு, மின்னோட்டத்திற்கான (I) அலகு ஆம்பியர், மின்னூட்டத்திற்கான (Q) அலகு கூலும்.

399 மின்னோட்டமானி (Ammeter)

ஒரு மின்சுற்றில் பாயும் மின்னோட்டத்தை அளக்கப் பயன்படும் கருவி மின்னோட்டமானியாகும். அளக்கப்படவேண்டிய மின்னோட்டத்தின் அளவைப் பொருத்து இவை மில்லி மின்னோட்டமானி அல்லது மைக்ரோ மின்னோட்டமானி எனப்படும். சுற்றின் எப்பகுதியில் பாயும் மின்னோட்டத்தை அளக்க வேணடுமோ அப்பகுதியில் எப்பொழுதும் தொடராகவே மின்னோட்டமானி இணைக்கப்பட வேண்டும். மேலும் மின்னோட்டமானி மிகக் குறைவான மின்தடையைப் பெற்றிருக்க வேண்டும். அப்பொழுதுதான் சுற்றில் பாயும் மின்னோட்டத்தின் அளவு மாறாது. ஆகவே, இதனை எப்பொழுதும் ஒரு திறன் மூலத்திற்கு (source of power) பக்க இணைப்பாக இணைத்தல் கூடாது. நேர்திசை, மாறுதிசை மின்னோட்டங்களை அளப்பதற்கு மின்னோட்டமானிகள் தக்கபடி வடிவமைக்கப்படுகின்றன.

நேர்திசை மின்னோட்டமானி (Direct current ammeter)

ஓர் இயங்குசுருள் கால்வனா மீட்டரை எளிதாக மின்னோட்டமானியாக மாற்றலாம். இதற்கு ஒரு சிறிய மின்தடையை கால்வனா மீட்டருக்குப் பக்க இணைப்பாக இணைக்க வேண்டும். இக்குறைவான மின்தடையை (low resistance) இணைத்தடம் (shunt) என்கிறோம். இணைத் தடத்தின் மின்தடையைத் தகுந்தவாறு மாற்றியமைத்து மின்னோட்டமானி அளவுகளின் நெடுக்கத்தை (range) மாற்றிக் கொள்ளலாம். இணைத்தடத்தின் மின்தடை குறையக் குறைய மின்னோட்டமானியின் மின்னோட்ட நெடுக்கம் அதிகரிக்கும்.

மாறுதிசை மின்னோட்டமானி (Alternating current ammeter)

இயங்குசுருள் கால்வனா மீட்டரை மாறுதிசை மின்னோட்டத்தை அளக்கப் பயன்படுத்த முடியாது. எனவே கீழ்க்கண்ட வகை மானிகள் (meters) மாறுதிசை மின்னோட்டத்தை அளக்கப் பயன்படுத்தப் படுகின்றன.

1) இயங்கு இரும்பு கருவிகள் (moving iron instruments) - புலத்தில் உள்ள உலோகத் தண்டுகளிடையே ஏற்படும் விலக்கத்தைக் கொண்டு, 2) சுடுகம்பி கருவிகள் (hot wire

instruments) – கம்பியால் உண்டாகும் விரிவைப் பயன்படுத்தி (நேர், மற்றும் மாறுதிசை மின்னோட்டங்களுக்கும்), 3) அலைதிருத்தி வகை கருவிகள் (rectifierinstruments), 4) டைனமோ மீட்டர் கருவிகள் (dynamometer instruments), 5) டையோடு வால்வ் வோல்ட் மீட்டர் (diode valve voltmeter), மற்றும் 6) எதிர்மின்கதிர் அலை வரைவி (Cathode ray oscilloscope). 500Hz அதிர்வெண்ணுக்குமேல் கொண்ட மாறுதிசை மின்னோட்டங்களை அளக்க இயல்பான மாறுதிசை மின்னோட்ட மானிகள் (A-C ammeters) பயன்படாது. ஆனால் வெப்ப வகைக் கருவிகளை (thermal type instruments) நேர் மற்றும் கேள் அதிர்வெண் (audio frequency), ரேடியோ அதிர்வெண் (RF) மின்னோட்டங்களை அளக்கப் பயன்படுத்தலாம். திருத்தி வகை (rectifier type) கருவிகள் 20,000Hz அதிர்வெண் வரை உள்ள மில்லி ஆம்பியர், மைக்ரோ ஆம்பியர் அளவு மின்னோட்டங்களையும், மில்லி வோல்ட் முதல் 10,000 வோல்ட் வரையிலும் உள்ள மின்னழுத்தங்களையும் அளக்கப் பயன்படுகின்றன.

400 மின்கடத்தாப்பொருள் மாறிலி (Dielectric constant)

ஒரு மின்தேக்கியின் இரு மின்தகடுகளுக்கு இடையே உள்ள வெற்றிடம், மின்கடத்தாப் பொருள் கொண்டு நிரப்பப்பட்டால், அம் மின்தேக்கியின் மின்தேக்கு திறன் அதிகரிக்கும் என்பதை மைக்கல் பேரடே கண்டறிந்தார். இந்த மின்தேக்கியின் மின்தகடுகளுக்கு இடையே உள்ள இடைவெளி வெற்றிடமாக இருக்கும் பொழுது, அதனுடைய மின்தேக்குதிறன் c_0 என்றும், அவ்விடைவெளி, மின்கடத்தாப் பொருள் ஒன்றால் நிரப்பப்படும் பொழுது அம்மின்தேக்கியின் மின்தேக்கும் திறன் C ஆகக் கொண்டால், C க்கும் c_0 க்கும் இடையே உள்ள தகவு ஒரு மாறிலியாக இருக்கும். அதாவது இந்த மாறிலியை K என்று குறிப்பிட்டால்

$$k = (c / c_0)$$ ஆகும்.

இந்த மாறிலி K யையே மின்கடத்தாப் பொருள் மாறிலி என்பர்.

401 மின்கடத்து திறன் (Electrical conductivity)

உலோகங்கள் தங்கள் அணுக்களில் கட்டுப்பாடற்ற (free) எலக்ரான்களைப் பெற்றிருக்கின்றன. அவை அணுக்கருவோடு மென்மையாகப் பிணைக்கப்பட்டுள்ளன. இத்தகைய தன்னிச்சையான எலக்ட்ரான்களை ஏராளமாகப் பெற்றிருக்கும் பொருட்களை நல்ல மின்கடத்திகள் (good conductors) எனவும், மிகக் குறைந்த அளவு பெற்றிருக்கும் பொருள்களை அரிதில் கடத்திகள் (bad conductors) எனவும் கூறுகிறோம். ஒரு மின்கடத்தியின் இரு முனைகளுக்கிடையே மின்புலத்தை உண்டாக்குங்கால் தன்னிசசையான எலக்ட்ரான்கள் அணுக்களிலிருந்து பிரிக்கப்பட்டு தாழ்ந்த மின்னழுத்த முனையிலிருந்து உயர்ந்த மின்னழுத்த முனையை நோக்கி ஓடும். இவ்விதமாக எலக்டரான்கள் ஒரு கடத்தியின் மூலம் பாய்வதை மின்னோட்டம் என்கிறோம். நீர்மம் அல்லது வாயுக்களில் அயனிகளின் இயக்கமாகவும், வெற்றிடக் குழாய்களில் எலக்ட்ரான்களின் இயக்கமாகவும் மின்னோட்டம் இருக்கும்.

மின்கடத்தியின் முனைகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கும் (V), பாயும மின்னோட்டத்திற்கும் (I) இடையே உள்ள தகவை V/I = R, மின்தடை என்கிறோம். ஒரு மின்கடத்தும் துண்டுப் பருப்பொருளின மின்தடை அதன் பரிமாணத்தைச் சார்ந்தது. குறிப்பிட் வெப்பநிலையில் கடத்தியின் மின்தடை, நீளம் l -க்கு நேர்தகவிலும், குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு A-க்கு எதிர்தகவிலும் அமைந்துள்ளது. அதாவது $R \alpha \frac{l}{A}$; ஆகவே, $R = \rho \frac{l}{A}$. இங்கு ρ–என்பது கடத்தியின் தன்மின்தடை (specific resistance) அல்லது மின்தடை எண் (resistivity) ஆகும்.

$$\text{மின்தடை எண் } \rho = \frac{\text{மின்தடை (R) x குறுக்குப் பரப்பு (A)}}{\text{நீளம் (l)}}$$

ρ–வின் அலகு ஓம்–மீட்டர் ஆகும். இதன் தலைகீழியே $\left(\frac{1}{\rho}\right)$ மின்கடத்து திறன் (σ) எனப்படும்.

$$\text{மின்கடத்து திறன் } \sigma = \frac{1}{\rho} \text{ ஓம்}^{-1}.\text{மீ}^{-1}$$

மின்கடத்து திறன் சீமன்ஸ் (s) என்ற அலகால் அளக்கப்படுகின்றது.

402 மின்தேக்கு திறன் (Capacitance)

ஒரு கடத்திக்கு மின்னூட்டம் கொடுக்கும்பொழுது அதனுடைய மின்னழுத்தம் மிகுதியாகும். ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் அக்கடத்திக்குக் கொடுக்கப்பட்ட மின்னூட்டம், அக்கடத்தியின் மின்னழுத்தத்திற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். ஒரு கடத்திக்கு q கூலும் (Columb) மின்னூட்டம் கொடுப்பதன் மூலம், அதனுடைய மின்னழுத்தம் V வோல்ட் ஆக உயர்ந்தால், $\frac{q}{V}$ = ஒரு மாறிலி = C. இங்கு C அக்கடத்தியின் மின்தேக்குதிறனாகும். இது கடத்தியின் தன்மையையும், அதனுடைய பரப்பையும் பொறுத்ததாகும். ஒரு கடத்தியின் மின்னழுத்தத்தை ஓர் அலகு உயர்த்துவதற்குத் தேவையான மின்னூட்டமே அக்கடத்தியின் மின்தேக்குதிறனாகும். மின்தேக்குதிறனின் அலகு ஃபாரட் (farad) ஆகும்.

403 மின்பகு பொருட்கள் (Electrolytes)

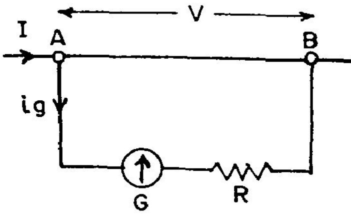
உருகிய நிலையில் அல்லது சில குறிப்பிட்ட கரைப்பான்களில் கரைந்து கரைசலாக உள்ள நிலையில் மின்னோட்டத்தைக் கடத்துகிற திறனைப் பெறுகிற பொருட்கள் மின்பகு பொருட்கள் எனப்படும். வேதிச் சேர்மங்கள் மட்டுமே இவ்வாறான திறனைப் பெற முடிகிறது. அவற்றின் மூலம் மின்னோட்டம் பாயும்போது அவை சிதையும். அந்த நிகழ்வு மின்பகுப்பு (electrolysis) எனப்படும். அது மின்வாய்களில் நிகழும். மின்பகு பொருட்களை உருகியநிலை அல்லது கரைசல் நிலைக்கு மாற்றும்போது அவற்றில் அயனிகள் தோன்றி மின்னோட்டத்தைக் கடத்தும் ஊர்திகளாகச் செயற்படுகின்றன. அனைத்து அமிலங்களும், காரங்களும், உப்புகளும் மின்பகு பொருட்களே.

மின்பகு பொருட்களை வலுவானவை எனவும் வலுவற்றவை எனவும் இரு வகைப்படுத்தலாம். வலுவானவற்றில் வழக்கமாக ஒரு நிலையான அயனிப் பிணைப்பு இருக்கும். அவை கரைசல்களில் முழுமையாக அயனிப் பிரிகைக்கு ஆளாகும். அவற்றில் பெரும்பாலானவை படிகங்கள். வலுவற்ற மின்பகு பொருட்கள் கரைசலில் ஓரளவே அயனிப்பிரிகை அடையும். உலோக அயிட்ராக்சைடுகளும் உப்புகளும் வலுவான மின்பகு பொருட்களாயிருப்பது வழக்கம். பொட்டாசியம் அயிட்ராக்சைடு, சோடியம் குளோரைடு ஆகியவற்றை இவற்றுக்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகக் குறிப்பிடலாம்.

வலுவற்ற மின்பகு பொருட்களில் ஒரு சகப் பிணைப்பு (covalent bond) அமைந்திருக்கும். அவற்றை நீர் போன்ற ஒரு கரைப்பானில் கரைத்தால் அது அயனிப் பிணைப்பாக (ionic bond) மாறிவிடக் கூடும். இத்தகைய கரைசல்களில் இந்த இருவகைப் பிணைப்புகளும் சமநிலையிலிருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, அசிட்டிக் அமிலத்தை நீரில் கரைத்தால் CH_3COO^-, H^+ என்ற அயனிகளுடன் கூடவே அயனிப்பிரிகை அடையாத CH_3COOH மூலக்கூறுகளும் இருக்கும்.

404 மின்னழுத்த அளவி (Voltmeter)

மின் சுற்றில் இரு புள்ளிகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டினை அளக்கப் பயன்படும் கருவியே மின்னழுத்த அளவி ஆகும். இதனை எப்பொழுதும்



அப்புள்ளிகளுக்கிடையே முதன்மைச் சுற்றுக்குப் பக்க இணைப்பாக இணைத்தல் வேண்டும். மேலும் இது, முதன்மைச் சுற்றில் பாயும் மின்னோட்டத்தில் மிகச் சிறும அளவையே எடுத்துக் கொண்டு செயல்பட வேண்டுமாதலால் இதன் மின்தடை மிக உயர் அளவாக இருக்க வேண்டும். அவ்வாறு இல்லையெனில், சுற்றில் பாயும் மின்னோட்டத்தின் அளவு மாறி அளக்கப்பட வேண்டிய மின்னழுத்தத்தின் அளவும் மாறி விடும். எனவே ஓர் இலக்கண மின்னழுத்த அளவியின் தடை ஈறிலியாக (infinite) இருக்கும்.

நேர்திசை மின்னழுத்த அளவி (Direct current voltmeter)

ஓர் இயங்குசுருள் கால்வனா மீட்டருடன் (G) மிக உயர் (அளவு) மின் தடை (R) ஒன்றைத் தொடராக இணைத்து அதனை ஒரு மின்னழுத்த அளவியாக மாற்றியமைக்கலாம். மேலும் மின்னோட்டமானியைப் போலவே பல்வேறு உயர்தடைகளைத் தொடராக மாற்றி இணைப்பதன் மூலம் மின்னழுத்தமானியின் நெடுக்கத்தை மாற்றிக் கொள்ள முடியும்.

$I_g (R + G) = V.$

ஆகவே, $I_g \alpha V$. (காரணம் (R + G) மாறிலி). (R + G)யை மாறிலியாக வைத்தால் கால்வனா மீட்டர் வழியே பாயும் மின்னோட்டம் I_g, AB க்கு இடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு V -க்கு நேர்தகவில் அமையும். எனவே கால்வனா மீட்டரின் குறிமுள் விலகல் அளக்கப்பட வேண்டிய மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு நேர்தகவில் இருக்கும்.

மாறுதிசை மின்னழுத்த அளவி (Alternate current voltmeter)

மாறுதிசை மின்னோட்டத்தின் மின் அழுத்தத்தினை இயங்குசுருள் கால்வனா மீட்டரைக் கொண்டு அளக்கலாம். முதலில் வருகின்ற மின்னழுத்தத்தை (incoming voltage) ஒரு டையோடு போன்ற அலைத் திருத்தி வழியே செலுத்தி நேர்திசை மின்னோட்டமாக மாற்றி அதனை கால்வனா மீட்டருக்குக் கொடுக்க வேண்டும். மாறுதிசை மின்னோட்டம் மற்றும் மின்னழுத்தங்களை அளக்கப் பயன்படும் கருவிகளின் அளவுகோல்கள் நேரடியாக அவற்றின் பயனுறு மதிப்பு (Effective value) அல்லது சராசரி இருமடியின் இருமடி மூல மதிப்புகளை (E_{RMS} or I_{RMS}) கொடுக்கும்படி அளவிடப்பட்டிருக்கும்.

மின்னழுத்த அளவியின் உணர்திறன் ஓம்/வோல்ட் அளவால் குறிக்கப்படும். அதாவது, ஒரு குறிப்பிட்ட நெடுக்கத்திற்கான மின்தடையை, அந்நெடுக்கத்தின் முழு அளவுகோல் மின்னழுத்தத்தால் வகுக்க வேண்டும். தொழிற்சாலை தொடர்பான திறன் சுற்றுகளுக்கு (Industrial power circuits) 100 ஓம்/வோல்ட் உணர்திறன் கொண்ட மின்னழுத்த அளவிகள் போதுமானது. ஆனால் ரேடியோ மற்றும் எலக்ட்ரானியல் தொடர்பான சுற்றுகளின் சோதனைக்கு (அவைகளின் மின்தடை 10^6 ஓமும் அதற்கு மேலும் உள்ளபடியால்) 20,000 ஓம்/வோல்ட் உணர்திறன் கொண்டவையாக அவை இருத்தல் அவசியம். எனவேதான் அதிக மின்தடை கொண்ட (~ 10^6 ஓம்) வெற்றிடக்குழாய் மின்னழுத்த அளவிகள் இச்சுற்றுகளில் பெரிதும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

405 **மின்னழுத்த வேறுபாடு** (Potential difference)

ஓரலகு நேர் மின்னூட்டத்தைக் குறைந்த மின்னழுத்தத்திலுள்ள ஒரு புள்ளியிலிருந்து உயர்மின்னழுத்தத்திலுள்ள மற்றொரு புள்ளிக்கு நகர்த்தத் தேவையான

வேலையை நாம் மின்னழுத்த வேறுபாடு என்று கூறுகிறோம். இதன் அலகு வோல்ட் (Volt) ஆகும்.

406 மின்னியக்கு விசை (Electromotive force)

ஒரு மூடிய மின் சுற்று முழுவதிலும் ஓரலகு மின்னூட்டத்தை எடுத்துச் செல்லச் செய்யப்படும் வேலையின் அளவே ஒரு மின்கலத்தின் மின்னியக்கு விசையாகும். மின்னியக்கு விசை மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கான அலகுகளாலேயே (வோல்ட்) அளக்கப்படுகின்றது. மேலும், ஒரு மின்கலமானது வெளிச்சுற்றில் மின்னோட்டத்தைப் பாய்ச்சாமல் இருக்கும்பொழுது (திறந்த சுற்று, Open circuit) அதன் முனைகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு, அதன் மின்னியக்கு விசைக்குச் சமமாகும். ஆனால், வெளிச்சுற்றில் மின்சாரம் செலுத்தும்போது அதன் முனைகளுக்கிடையே உள்ள மின் அழுத்த வேறுபாடு அதன் மின்னியக்கு விசையை விடக் குறைந்தே இருக்கும். ஏனெனில், மின்னியக்கு விசையின் ஒரு பகுதி மின்கலத்தினுள் மின்சாரத்தைச் செலுத்துவதற்குப் பயன்பட்டு விடுகின்றது.

ஒரு மின்கலத்தின் மின்னியக்கு விசை, அதன் வெப்பநிலை, மின்வாய்களின் தன்மை, மின்பகுபொருள், மற்றும், தளவிளைவு நீக்கி (electrolyte and the depolariser) ஆகியவற்றின் செறிவைப் பொறுத்து அமையும். ஆனால் மின்வாய்களின் அளவை (size) பொறுத்தோ, அவைகளுக்கிடையே உள்ள தொலைவைப் பொறுத்தோ மின்னியக்கு விசை சார்ந்திருப்பதில்லை. மின்னியக்கு விசை காரணம் என்றால் மின்னழுத்த வேறுபாடு விளைவு ஆகும்.

407 மின்னூட்டப் பகிர்வு (Charge distribution)

மின்னூட்டப்பட்ட கடத்தியின் பரப்பில் மின்னூட்டம் பகிர்ந்து கொள்ளப்படுகிறது. அப்பகிர்வு கடத்தியின் உருவத்தையும், அருகிலிருக்கும் மற்ற மின்பொருட்களைப் பொறுத்தும் மாறுபாடு அடையும். ஒரு கோளகக் கடத்தி மின்னூட்டப் பட்டால், அம்மின்னூட்டம் ஒரே சீராகக் கோளத்தின் பரப்பில் பங்கிடப்படும். இக்கட்டத்தில் மின்னூட்டப் பரப்படர்த்தியை (surface density of charge) வரையறுக்கலாம். அதாவது, மின்னூட்டப்பட்ட பொருளின் ஓரலகுப் பரப்பில் உள்ள மின்னூட்டத்தை மின்னூட்டப் பரப்படர்த்தி எனலாம்.

408 மின் இடப்பெயர்ச்சி (Electric displacement)

ஓர் இடவெளியில் ஒரு மின்னூட்டம் பெற்ற துகளை வைத்தால் அதனைச் சுற்றி மின்விசை பரவுகிறது. அந்த மின்விசை பரவியுள்ள இடைவெளி மின்புலம் எனப்படும். ஓர் ஊடகத்தில் இந்த மின்புலம் பரவும் போது மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்கள் பெறும் இடப்பெயர்ச்சி மின் இடப்பெயர்ச்சி என்று பெயர். மின் புலத்தின் வலிமையை, அதனால் ஏற்படும் மின் இடப்பெயர்ச்சியைக் கொண்டு கணிப்பர். மின் இடப்பெயர்ச்சிக்கும், மின் புலவலிமைக்கும் இடையே உள்ள தகவு, ஊடகத்தின் தனி அனுமதிப்பு (absolute permitivity) எனப்படும்.

409 மின் இருமுனை (Electric dipole)

சமமான எண் மதிப்பும், எதிர்எதிரான குறிகளும் கொண்ட இரண்டு மின்கள் ஒன்றுக்கொன்று நெருக்கமாக அமைந்திருப்பது மின் இரு முனை எனப்படும். மின்னின் எண் மதிப்பு, அவற்றுக்கிடையிலான தொலைவு ஆகியவற்றின் பெருக்குத் தொகை இருமுனை திருப்புத்திறன் (dipole moment) எனப்படும். அது ஒரு திசையி அளவு. மின்களை

இணைக்கிற கோட்டின் நடுப்புள்ளியிலிருந்து r தொலைவிலுள்ள ஒரு புள்ளியில் மின்னழுத்தம் V(r) எனில்,

$$V(r) = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\vec{p}\cdot\vec{\nabla}\left(\frac{1}{r}\right)$$

இதில் $\vec{p}$ என்பது இருமுனை திருப்புதிறன்.

410 மின் ஏற்புத்திறன் (Electric susceptibility)

ஒரு மின்கடத்தாப் பொருளை (di-electric) எந்த அளவுக்கு எளிதாக மின் முனைவாக்கம் பெற்றதாக மாற்ற முடியுமோ, அந்த அளவைத்தான் மின் ஏற்புத் திறன் என்கிறோம். அதற்குரிய சமன்பாடு

$$\text{மின் ஏற்புத்திறன்} = \frac{\text{மின் முனைவாக்கம் (p)}}{\text{மின் பு லத்திண்மை (E)}}$$

411 மின் தடை (Resistance)

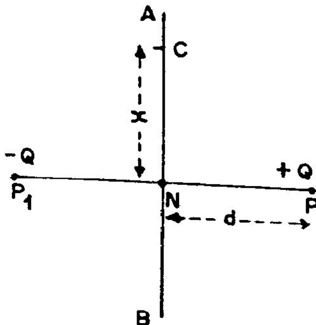
V என்ற மின்னழுத்த வேறுபாட்டின் கீழ் கடத்தி வழியே, I என்ற மின்னோட்டம் சென்றால் V / I = R ஒரு மாறிலி ஆகும். இங்கு R என்ற மாறிலிக்குக் கடத்தியின் மின்தடை என்று பெயர் எதாவது, ஒரு வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாட்டின்கீழ் ஒரு கடத்தி தன்வழியே ஓர் ஆம்பியர் மின்னோட்டத்தை செல்ல அனுமதித்தால் அதன் மின்தடை ஓர் ஓம் ஆகும்.

ஒரு கடத்தியின் மின்தடை அதன் நீளத்திற்கு (l) நேர்தகவுப் பொருத்தமும், குறுக்குவெட்டுப் பரப்பிற்கு (a) எதிர்தகவுப் பொருத்தமும் உடையது:-

$$R = \rho (l / a)$$

இங்கு ρ என்பது கடத்தியின் மின்தடை எண், l = 1, a = 1 ஆக இருக்கும் போது R = ρ ஆகும்.

412 மின் பிம்பங்கள் (Electric images)



ஒரு கடத்தியின்மீது அதனருகிலுள்ள ஒரு மின்னூட்டத்தினால் ஏற்படும் தூண்டு மின்னூட்டம் எவ்வாறு பங்கிடப்படுகிறது என்பதை ஆராய கெல்வின் மின் பிம்ப முறையைக் கண்டார். தரையிணைக்கப்பட்ட ஈறிலா நீளமுள்ள ஒரு தளக் கடத்தியை எடுத்துக் கொள்வோம். அத்தளக் கடத்திக்கு அருகிலுள்ள P என்ற புள்ளியில் +Q என்ற புள்ளி மின்னூட்டமிருப்பதாகக் கொள்வோம். P என்ற புள்ளியை நோக்கியுள்ள கடத்தியின் தளத்தில் மின்தூண்டல் விளைவாக ஓர் எதிர் மின்னூட்டம் தூண்டப்படுகிறது. தளக்கடத்தித் தரையிணைக்கப் பட்டிருப்பதால், அத்தளக்கடத்தியின் மீதுள்ள எல்லாப்புள்ளிகளிலும் மின்னழுத்தம் சுழியாக யிருக்கும். அதாவது P என்ற புள்ளியிலுள்ள +Q

மின்னூட்டத்தினாலும், அக்கடத்தியின் மீதுள்ள மின் தூண்டலினால் ஏற்பட்ட எதிர் மின்னூட்டத்தின் பரப்பீடு காரணமாகவும் அக்கடத்தியின் மீதுள்ள எல்லாப் புள்ளிகளிலும் மின்னழுத்தம் சுழியாகயிருக்கிறது.

படத்தில் AB*க்குச் செங்குத்தாக உள்ள* PN *என்ற கோட்டை* P_1 *வரைக்கும்* $PN = NP_1 = d$ *ஆக இருக்கும்படி நீட்டவும்.* P_1 *என்ற புள்ளியில்* -Q *என்ற மின்னூட்டமிருப்பதாகக் கற்பனை செய்துகொண்டு, அந்த ஈறிலா நீளமுள்ள கடத்தியை நீக்கிவிட்டதாகக் கொள்வோம்.* AB *தளத்தில்* C *என்ற ஏதாவதொரு புள்ளியைக் கருதுவோம். அப்புள்ளி கடத்தியின்மீது இருந்திருந்தால் அப்புள்ளியின்மீது மின்னழுத்தம் சுழியாக இருந்திருக்கும். கடத்தியில்லாதபொழுது* C *என்ற புள்ளியில்* P*–யிலுள்ள* +Q *வினாலும்,* P_1*–விலுள்ள* -Q*-வினாலும் மின்னழுத்தத்தைக் கணக்கிடலாம். அதாவது,* C *யிலுள்ள பயனுறு மின்னழுத்தம்*

$$\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 PC} - \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 P_1C} = 0 \qquad [PC = P_1C]$$

என்று நிறுவலாம். எனவே, கடத்தியிருக்கும்பொழுது C *என்ற புள்ளியில் என்ன மின்னழுத்தமோ (சுழி) அதே மின்னழுத்தத்தை கடத்தியில்லாதபொழுது,* P_1*-விலுள்ள* -Q *மின்னூட்டம் ஏற்படுத்துகிறது. ஆகவே கடத்தியில்லாதபொழுது* P_1*–விலுள்ள* -Q *மின்னூட்டம், ஒளியியல் ஒப்புமை* (optical analogy) *காரணமாக,* P*-யிலுள்ள* +Q*–வின் மின் பிம்பமாகும்.*

413 ***மின் மாறாமை*** (Charge invariance)

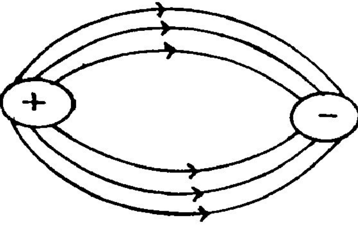
அண்டவெளியிலுள்ள மின்னின் மொத்த அளவு மாறாது என்று மின் மாறாமை விதி கூறுகிறது. இது ஒரு பட்டறிவு அடிப்படையிலான விதி. உராய்வு அல்லது தூண்டல மூலம் பொருட்கள் மின்னூட்டப் படுகையில் நிகழ்வது நேர் மின்களும் எதிர் மின்களும் தனித்தனியாகப் பிரிக்கப்படுவது மட்டுமே. அதாவது, அச்செயல்களில் புதிதாக மின் ஏதும் உருவாக்கப்படுவதில்லை. ஆற்றலானது மின்துகள்களாக மாறும் நிகழ்வுகளில் ஒரு துகள் எதிர் மின்னும் மற்ற துகள் அதே வலுவுள்ள நேர் மின்னும் பெற்றிருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு காமா கதிர் போட்டான் ஒரு எலக்ட்ரானாகவும் அதே மின் வலிமையுள்ள பாசிட்ரானாகவும் மாறுகிறது. இவ்வாறு இயங்கும் மின்களின் இயல் கூட்டுத் தொகையில் மாற்றம் ஏற்படுகிற வகையில் புதிய மின்கள் தோன்றுவதுமில்லை. மறுதலையாக எலக்ட்ரானும் பாசிட்ரானும் கூடி காமா கதிர் போட்டான்களாக மாறும்போது சம அளவில் எதிரின மின்களும் நேரின மின்களும் கூடி மறைகின்றன. இங்கு மொத்த மின் அளவில் குறைவும் ஏற்படுவதில்லை.

414 ***மின் முனைவாக்கம்*** (Electric - polarization)

மின்புலத்தில் ஒரு மின்கடத்தாப் பொருள் வைக்கப்படும்பொழுது, மின்புலத்தால் அணுககள் அடையும் தீர்பே மின் முனைவாக்கம் எனப்படும். மின்புலத்தின் செயற்பாட்டால், ஒரே புள்ளியில் இருந்த அணுக்களின் நேர் மின்னூட்ட மாயங்களும், எதிர் மின்னூட்ட மாயங்களும் சிறிது இடம் பெயர்கின்றன. இந்த மின் முனைவாக்கம், செயற்படு மின்புலத்துக்கு நேர்தகவில் இருக்கும். அதாவது $P \propto \vec{E}$

415 ***மின் விசைக்கோடுகள்*** (Electric lines of force)

இவை மின் புலத்தைச் சித்தரிக்கிற கற்பனைக் கோடுகள். எந்த ஒரு புள்ளியிலும் வரையப்படுகின்ற தொடுகோடு அந்தப் புள்ளியில் புலத்தின் திசையைக் குறிக்கிற



வகையிலும், புலத்தின் திசைக்கு நேர்குத்தான ஒரு அலகுப் பரப்பின் ஊடாகச் செல்கிற விசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை புலத்தின் வலிமையைக் குறிப்பிடுகிற வகையிலும் அவை வரையப்படும். மின்புலம் அல்லது காந்தப்புலத்தை விவரிக்க பாரடே இந்த விசைக் கோட்டுக் கருத்தை உருவாக்கினார். +q என்ற வலிமையுள்ள மின்னிலிருந்து q/ε_0 என்ற எண்ணிக்கையிலான விசைக் கோடுகள் வெளிப்படும். -q கூலும் வலிமையுள்ள மின்னுக்குள் q/ε_0 விசைக்கோடுகள் முடிவடையும். ஒரு காந்தத்தைச் சுற்றியுள்ள விசைக் கோடுகள் வடமுனையில் வெளிப்பட்டுத் தென்முனையில் முடிவுறும்.

416 லாப்லாஸ் சமன்பாடு (Laplace's equation)

பாய்சான் சமன்பாட்டிலிருந்து லாப்லாஸின் சமன்பாட்டைப் பெறலாம். பாய்சான் சமனபாடு $\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$.

$\rho = 0$ என்றால் $\nabla^2 V = 0$

இச்சமன்பாடு லாப்லாஸ் சமன்பாடாகும். இச்சமன்பாட்டைக் கடத்திகளுக்குப் பயன்படுத்தலாம். ஏனெனில், கடத்திக்குத் தரப்படும் எல்லா மின்னூட்டங்களும் கடத்தியின் மேற்பரப்பில் பங்கீடு செய்யப்படுகின்றன. ஆகையினால் மின்னூட்ட அடர்த்தி (charge density) எல்லாப் புள்ளிகளிலும் சுழியாகிறது. எனவே ஒரு மின்னூட்டப்பட்ட கோளகக்கடத்தியின் மேற்பரப்பிலுள்ள சராசரி மின்னழுத்தம், அக்கோளகக் கடத்தியின் மையப் புள்ளியிலுள்ள மின்னழுத்தத்திற்கு சமமாகும்.

417 லாரன்சு விசை (Lorentz force)

மின்புலங்களிலும், காந்தப்புலங்களிலும் நுழைகிற மின்துகள்களும் மின்னோட்டக் கூறுகளும் லாரன்ட்சு விசை என்னும் விசையால் தாக்கப்படுகின்றன. இத்தகைய மின்துகள்கள், மின்னோட்டக் கூறுகள் ஆகியவற்றின் இயக்கங்களை நியூட்டன் விதிகளின் உதவியால் கணக்கிட முடிகிறது. $\vec{v}$ என்ற திசைவேகத்துடன் நகரும் q என்ற மின்னின் மேல் $\vec{E}$ என்னும் மின்புலமும் $\vec{B}$ என்னும் காந்தப்புலமும் செலுத்துகிற விசை $\vec{F}$ எனில, $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$. நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியைப் பயன்படுத்தி கீழ்கணடவாறு எழுதலாம்.

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{m_0\vec{v}}{(1-(v^2/c^2))^{1/2}}\right)$$

இதில் $\vec{p}$ என்பது மின்னின் உந்தம், m_0 என்பது அதன் ஓய்வு நிறை, C என்பது ஒளியின் திசைவேகம். இச்சமன்பாட்டின் உதவியால் வெவ்வேறு சூழ்நிலைகளில் புலங்களையும், அவற்றிலுள்ள மின்களின் இயக்கத்தையும் கணக்கிட முடிகிறது. எடுத்துககாட்டாக வெற்றிடத்தில் $\vec{v}$ என்ற திசைவேகததுடன் நகரும் ஓர் எலக்ட்ரானின் மேல் ஒரு காந்தப்புலத்தைச் செலுத்தினால், எலக்ட்ரானின்மேல் $\vec{F}$ என்ற லாரன்ட்சின் விசை செயற்படும். அது காந்தப்புலத்தின் திசை, எலக்ட்ரானின் இயக்கத் திசை ஆகிய இரண்டுக்குமே இருக்கும். காந்தத் தூண்டல் $\vec{b}$ எனில்,

$$\vec{F} = -e(\vec{v} \times \vec{b}).$$

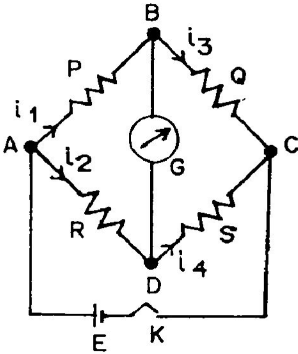
இந்த விசை எலகட்ரானின் இயக்கத் திசைக்கு செங்குத்தாகச் செயற்படுவதால் அது எலகடரானின்மேல் வேலையேதும செய்வதில்லை. எனவே எலக்ட்ரானின் திசைவேகத்தின் எண் மதிப்பில் மாற்றமேதும் ஏற்படாது.

418 லென்ஸ் விதி (Lenz Law)

தூண்டு மின்னோட்டத்தின் திசையை அறிவதற்கு இவ்விதி பயன்படுகிறது. 'காந்தப்புல மாற்றத்தினால் ஒரு கம்பிச் சுருளில் மின்னோட்டம் தூண்டப்படும்போது அத் தூண்டுமின்னோட்டத்தினால் உருவாக்கப்படும் காந்தப்புலம் அக்கம்பிச் சுருளில் பரவியுள்ள காந்தப்புலத்தில் ஏற்படுகிற மாற்றத்தை எதிர்க்கும்' என இவ்விதி கூறுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு கம்பிச் சுருளில் பரவியுள்ள காந்தப்புலச் செறிவு அதிகரிக்கும் போது அதனால் தூண்டப்படும் மின்னோட்டத்தினால் ஏற்படும் காந்தப்புலம், முதலில் உள்ள காந்தப்புலச்செறிவின் அதிகரிப்பை எதிர்க்கிற வகையில் அந்தக் காந்தப்புலத்திற்கு எதிரான திசையில் உண்டாகும். மாறாக, ஒரு கம்பிச் சுருளில் பாயும் காந்தம் செறிவு குறையும் பொழுது அதனால் தூண்டப்படும் மின்னோட்டத்தினால் உருவாக்கப்படும் காந்தப்புலம், குறையும் காந்தப்புலத்தின் திசையிலேயே செயற்பட்டு அவ்வாறு குறைவதை எதிர்க்கும்.

419 வீட்ஸ்டோன் சமனச்சுற்று (Wheatstone bridge)

மின்தடைகளைத் துல்லியமாகக் கண்டறியப் பயன்படும் கருவி வீட்ஸ்டோன் சமனச்சுற்று ஆகும். இச்சுற்றில் P, Q, R, S என்னும் நான்கு மின்தடைகள் ஒரு மூடிய சுற்றை ஏற்படுத்துமாறு படத்தில் காட்டியபடி இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இதில் S-ன் மின்தடை அளவிடப்பட வேண்டியது. A, C புள்ளிகட்கிடையே ஒரு மின்கலம் E-யும், B, D புள்ளிகட்கிடையே ஒரு கால்வனா மீட்டர் G-யும் இணைக்கப்படுகின்றன. AB, BC ஆகியவை சுற்றின் தகவு புயங்கள் ஆகும். P, Q-வில் சம மின்தடைகள், அதாவது, 10 ஓம் அல்லது 100 ஓம் இருக்குமாறு செய்து கால்வனா மீட்டர் வழியே பாயும் மின்னோட்டம் சுழியாகும் வகையில் (கால்வனா மீட்டரில் விலக்கம் இல்லாத நிலை) R-ன் மின்தடையை மாற்றி அமைக்க வேண்டும். இந்நிலையில், AB-க்கு இடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு = AD -க்கு இடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு. மேலும் BC-க்கு இடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு = CD-க்கு இடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு ஆகும். அதாவது

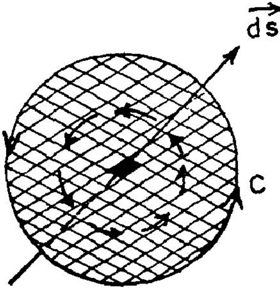


$$i_1 P = i_2 R, \quad i_3 Q = i_4 S$$

$$\therefore \frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \quad (i_1 = i_3, i_2 = i_4 \text{ என்பதால்}).$$

இச்சமன்பாடே சமனச்சுற்றினைச் சமன் செய்வதற்கான நிபந்தனையாகும். இச்சமன்பாட்டின் மூலம் S-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டு அறியலாம். வீட்ஸ்டோன் சமனச்சுற்று அதிக உணர்திறன் கொண்டதாகச் செயற்பட உயர் மின்தடைகளின் சந்திப்புப் புள்ளிக்கும், குறைந்த மின்தடைகளின் சந்திப்புப் புள்ளிக்கும் இடையே கால்வனா மீட்டர் இணைக்கப்பட வேண்டும். நடைமுறையில் மீட்டர் சமனச்சுற்று வடிவிலும், அஞ்சல் நிலையப் பெட்டி அமைப்பிலும் (post office box) வீடஸ்டோன் சமனச்சுற்று உருவாக்கப்படுகின்றன.

420 ஸ்டோக்ஸின் தேற்றம் (Stokes' theorem)



'ஒரு முற்றுப் பெற்ற பாதையைச் (closed path) சுற்றியுள்ள திசையி புலத்தின் (vector field) கோட்டுத் தொகை (line integral), அந்த முற்றுப்பெற்ற பாதையால் அடைக்கப்பட்ட மேற்பரப்பின் மீதுள்ள அந்த திசையின் கர்வின் (curve) செங்குத்துக் கூறின் (normal component) தொகைக்குச் சமமாகும்' என்பதே ஸ்டோக் தேற்றம்.

$$\int_c \vec{E} \cdot \vec{dl} = \int_S (\text{curl } \vec{E}) \cdot \vec{dS}$$

ஆற்றல் இயல்பியல்
Energy Physics

421 **அணு ஆற்றல்** (Atomic energy)

அணுவைப் பிளப்பதினாலோ அல்லது அணுக்களின் கூட்டுச் சேர்க்கையினாலோ வெளிப்படும் ஆற்றலாகும். காட்டாக ஒரு யுரேனியம் அணுவைப் பிளப்பதினால் வெளிப்படும் அணு ஆற்றல் 200 மில்லியன் எலக்ட்ரான் வோல்ட் ஆகும். அணு ஆற்றல் நிலையங்கள் யாவும் இந்தக் கோட்பாட்டின் அடிப்படையில்தான் இயங்குகின்றன. சூரியன் மற்றும் விண்மீன்களிடமிருந்து வெளியாகும் ஆற்றல் அணுச் சேர்க்கை ஆற்றலாகும். இவற்றில் நான்கு ஹைடிரஜன் அணுக்கள் சேர்ந்து ஹீலியம் என்ற அணு உருவாவதால் ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது.

422 **அணுக்கரு ஆற்றல்** (Nuclear energy)

ஆல்பர்ட் ஐன்ஸ்டீனின், நிறை–ஆற்றல் சமன்பாட்டின் அடிப்படையில், அணுக்கரு ஆற்றல் விவரிக்கப்படுகிறது. அதாவது,

$E = mc^2$ {ஐன்ஸ்டீனின், நிறை–ஆற்றல் இணை மாற்றுத் தத்துவம்} (1)

E - ஆற்றல்; m - நிறை; c- ஒளியின் வேகம்.

புரோட்டான்களும், நியூட்ரான்களும் இணைந்து உட்கரு உண்டாகும்போது, அவ்வாறு உண்டாகும் உட்கருவின் நிறையானது அதிலுள்ள பகுதிப் பொருட்களாகிய புரோட்டான், நியூட்ரான்களின் தனிப்பட்ட நிறைகளின் கூட்டைவிடக் குறைவாக இருக்கும். இந்த நிறை வேறுபாடு நிறைவழு (mass defect) எனப்படும். இந்த நிறை வழுவுக்குச் சமமான ஆற்றலை உட்கருவின் பிணைக்கும் ஆற்றல் (binding energy) எனப்படும். இதனால் அணுக்கரு உலைகளில் நியூட்ரான்களாகவும், புரோட்டான்களாகவும் பிரிக்கப்படும் பொழுது மிக அதிகமான ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது; அதாவது நிறை வேறுபாடு Δm என்றால், வெளிவரும் ஆற்றல், $\Delta E = \Delta mc^2$; என்று சமன்பாடு (1)ன் படி இருக்கும். இந்த ஆற்றல் அணுக்கரு ஆற்றல் எனப்படும். இது 20,000,000 மடங்கு சாதாரண T.N.T வெடிமருந்திலிருந்து பெறப்படும் ஆற்றலைவிட அதிகம். ஒரு ^{235}U பரு அணுப்பிளப்பிலிருந்து 200 MeV ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது.

423 **அணுக்கருவியல் பூங்கா** (Nuclear park)

இது பல அணுக்கரு உலைகள் ஒருங்கிணைந்து செயற்படும் ஓர் அமைப்பு. இதன் உலைகள் யாவும் பொதுவான எரிபொருட்களைப் பயன்படுத்துகின்றன. ஆற்றலை வழங்கும் ஓர் ஏற்பாடாக இருப்பதோடு இது பல உபரி வேலைகளுக்கான வசதிகளையும் பெற்றுள்ளது. எடுத்துக்காட்டாக, பயன்படுத்தப்பட்ட எரிபொருளை மீண்டும் பயன்படுத்துவதற்கு ஆவன செய்தல், எரிபொருள் உற்பத்தி, கழிவைப் பதப்படுத்தல் போன்ற வேலைகளுக்கும் இது உடன்படுத்தப்படுகிறது.

424 **ஆற்றல் இருப்பு** (Energy content)

ஒரு குறிப்பிட்ட சூழலில், குறிப்பிட்ட வெப்பத்திலும், அழுத்தத்திலும், ஒரு வாயுவின் அல்லது திரவத்தின் அல்லது திடப்பொருளின் உள்ளிருக்கும் ஆற்றலே, ஆற்றல் இருப்பு எனப்படும். சூழலில் ஏற்படும் மாற்றம் அந்தப் பொருளின் நிலையில் ஏதேனும் ஒரு மாற்றத்தை நிகழ்த்துவதால், அதன் ஆற்றல் இருப்பிலும் (energy content) மாற்றம் உண்டாகிறது. இது, ஒரு வேலையைச் செய்யத் தேவையான வெப்பத்தைக் கணக்கிட உதவுகிறது. ஆனால் இது ஒரு பொருளின் உற்பத்திக்கு தேவையான ஆற்றல் அல்ல.

425 **ஆற்றல் சேமிப்பு** (Energy storage)

பொதுவாக ஆற்றலை உற்பத்தி செய்தவுடனோ அல்லது அதே இடத்திலோ பயன்படுத்துவதில்லை. அதனை வேறு இடத்திற்கு அனுப்பி வைத்தல் வேண்டும். இதற்காக ஆற்றலைச் சேமித்தல் தேவையாகிறது. ஆற்றலின் சேமிப்பு பலவிதமாக நிகழ்கிறது. (உ.ம்.) வெகு தூரம் செல்லும் வாகனங்களில் ஆற்றல் எண்ணையாகவோ, நிலக்கரியாகவோ அல்லது மின்கலத்தில் மின்சாரமாகவோ சேமிக்கப்படுகிறது. இதுபோல் சூரிய ஆற்றல சேமிப்பும் நடைமுறையில் உள்ளது.

426 **இயற்கை வாயு** (Natural gas)

பூமியின் வெகு ஆழத்தில் நுண் துளிகள் உள்ள கற்களிலிருந்து வெளியாகும், எளிதில் தீப்பற்றக் கூடிய வாயு. இது பெரும்பாலும் கச்சா எண்ணை எடுக்கும்பொழுதோ, அல்லது அதன் அருகாமையிலோ வெளிவருகிறது. இது, வாயு வடிவத்தில் அமைந்ததால், எளிதில் பெறப்படுகிறது. பொதுவாக இது பெட்ரோலியத்திற்கும், அதிக நுண்துளிகள் உள்ள கற்களுக்கும் நடுவே காணப்படுகிறது. இது மிகவும் உயர்ந்த அழுத்தத்தில் இருப்பதால், எப்பொழுதுமே கச்சா எண்ணையுடன் கலந்தே வருகிறது.

427 **உயிராற்றல்** (Bio-energy)

ஒளிச்சேர்க்கை மூலம் தாவரங்கள் உண்டு செய்யும் ஆற்றலாகும் இது. உலகில் உள்ள எல்லா ஆற்றல்களும் சூரிய ஆற்றலை மூலமாகக் கொண்டுள்ளன. சூரிய ஆற்றலை ஏனைய ஆற்றல்களாக மாற்றுவதற்கு முதற்படி ஒளிச்சேர்க்கைதான். இந்தச் சேர்க்கையின் மூலம் சூரிய ஆற்றலானது வேதியியல் ஆற்றலாக மாற்றப்பட்டுச் சேகரிக்கப்படுகிறது. தாவரங்களை உண்டு வாழும் விலங்குகளும் உயிராற்றலின் மாற்று வடிவங்கள்தாம். உயிர்ச்சிதைவு மூலம் தாவரங்கள் நிலக்கரியாகவும், விலங்குகள் பெட்ரோலியப் பொருடகளாகவும மாற்றப்படுகின்றன.

428 **உயிர்ச் சிதைவு** (Bio-degradation)

இறந்துபோன உயிரியல் பொருட்களில் உள்ள புரோட்டீன்கள், கார்போஹைடிரேட்டுகள் போன்ற பெரிய வேதியல் மூலக்கூறுகள் நுண்ணுயிர்களின் உதவியினால் கார்பன், ஹைடிரஜன், நைட்ரஜன், ஆக்ஸிஜன் என்ற சிறிய வேதியல் கூறுகளாக மாற்றியமைக்கப்படும் நிகழ்ச்சி. இதனால் இறந்துபோன உயிரியல் பொருட்கள் யாவும் சிதைந்து மண்ணோடு மண்ணாகக் கலக்கின்றன. சிதைந்த கூறுகள் மீண்டும் தாவரங்களுக்கு உரமாகினறன. இவ்வாறு உயிர்ச் சுழற்சி (recycling) நடக்கிறது.

429 **உயிரின மாற்றம்** (Bio-conversion)

ஒளிச் சேர்க்கை முறையில் சூரிய ஆற்றலை வேதியியல் ஆற்றலாக மாற்றும் முறை. மரங்கள், செடிகளில் உள்ள பச்சையத்தினால் நீரும், கரியமில வாயுவும் சூரிய ஒளியின் துணையினால் கார்போஹைட்ரேட் ஆக மாற்றப்படுகிறது. இதனால் தாவரங்களின் வளர்ச்சி நடக்கிறது. இந்த மாற்றத்தின் மாற்றுதிறன் ஒரு விழுக்காடுதான். இருபபினும் உயிரின மாற்றமதான் உயிரினங்களின் வளர்ச்சியின் முதற்படி.

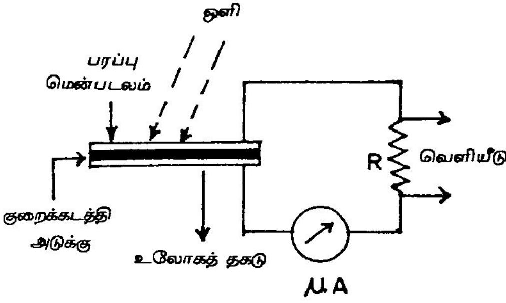
430 **ஏற்புக் கெழு** (Absorption coefficient)

ஒளியேற்பியின் தன்மையைக் குறிக்கும் எண் இது. தன்மேற்படும் ஒளிக்கதிர்களின் எவ்வளவு விழுக்காடு ஏற்றுக் கொள்ளப்படுகிறதோ அதுவே அந்த ஒளியேற்பியின் ஏற்புக் கெழு ஆகும். இந்த எண்ணின் மதிப்பு சுழியிலிருந்து ஒன்று வரை இருககும். ஒரு பரப்புக்கு இந்த எண்ணின் அளவு சுழியானால் அப்பரப்பு ஒளியை

ஏற்படுதேயில்லை. இந்த எண் ஒன்று உள்ள பரப்பு தன்மேற்படும் ஒளியை முழுமையாக ஏற்றுக் கொள்ளுகிறது. பொதுவாக எல்லாப் பரப்புகளுக்கும் இந்த எண் (0, 1)க்கிடையில் அமையும்.

431 ஒளி மின்கலம் (Photo cell)

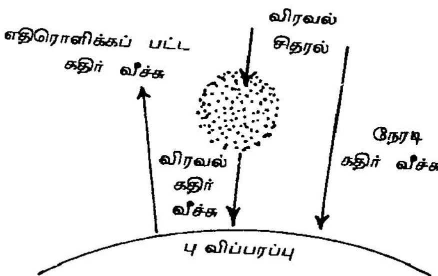
ஒளி ஆற்றலை மின்னாற்றலாக மாற்றக் கூடிய ஒரு கருவி ஒளி மின்கலமாகும். இது ஒளி மின் விளைவுத் தத்துவத்தின் அடிப்படையில் செயற்படுகிறது. ஒளி மின்கலங்கள் மூன்று வகைப்படும். அவை 1. ஒளி உமிழ்வு மின்கலம், 2. ஒளி கடத்து மின்கலம் மற்றும், 3. ஒளி மின்னழுத்த மின்கலம்.



ஒளி மின்னழுத்த மின்கலங்களில் ஒரு உலோகப் பரப்பின் மீது வெப்ப விளைவு முறையில் குறைகடத்தி படலம் ஒன்று உருவாக்கப்படுகிறது. பொதுவாக தாமிர உலோகப் பரப்பும் அதன் மீதான குறைகடத்தி படலம் தாமிர ஆக்ஸைடும் (Cu_2O) அமைக்கப் படுகிறது. குறைகடத்திப் படலம் மீது ஒரு மெல்லிய ஒளிக்கசிவுள்ள தங்கத்தாலான ஏடு உருவாக்கப்படுகிறது. இதன்மீது ஒளி படும்போது அதனுள் ஊடுறுவி குறைகடத்தி மீது படும். இதனால் ஒளி எலக்ட்ரான்கள் உமிழப்பட்டு ஒரு மின்னோட்டம் உருவாகும். இது ஒளி செல்லும் திசையில் பரவும். இவ்வகை மின்கலங்களுக்கு புற மின்கலம் இணைக்க வேண்டிய அவசியமில்லை. இதில் மின்னோட்டம் மிகக் குறைவாக மைக்ரோ ஆம்பியரில் பாயும். இவ்வகை மின்கலங்கள் தகுந்த அளவு குறியீடு செய்யப்பட்டு ஒளி மானி (light meters)களாகப் பயன்படுத்தப் படுகின்றன.

432 கதிர் வீச்சு (Radiation)

வெப்ப ஆற்றல் பரவுதலின் ஒரு வகையே கதிர்வீச்சு எனப்படுவது. உயர் வெப்பநிலையிலுள்ள ஒரு பொருளிலிருந்து தாழ்ந்த வெப்பநிலையிலுள்ள ஒரு பொருளுக்கு ஊடகத்தின் உதவியின்றி வெப்பம் பரவுதலே கதிர் வீச்சு என்கிறோம். மேலும கதிர்வீச்சு என்பது எல்லா மின்காந்தக் கதிர் வீச்சுத் தத்துவத்திற்கும் பொதுவானது.



சூரியனிலிருந்து புவிப்பரப்புக்கு வெப்ப ஆற்றல் கதிர் வீச்சு முறையிலேயே கிடைக்கிறது. திசைமாறாமல் சூரியனிலிருந்து நேராக புவிப்பரப்பை வந்தடையும் கதிர்வீச்சு கற்றைக் கதிர்வீச்சாகும் (beam radiation). எதிரொளிப்பு மற்றும் சிதறல் நிகழ்ச்சிகளால் அதன் திசை மாற்றப்பட்ட பின் புவிப்பரப்பை வந்தடையும் கதிர்வீச்சு விரவிய கதிர்வீச்சு (diffused radiation) ஆகும்.

சூரிய கதிர்வீச்சு ஆற்றல் புவியின் வளிமண்டலத்தின் வழியே வரும்போது குறைந்த அலைநீளம் கொண்ட புற ஊதாக் கதிர்கள் மற்றும் ஓசோன் ஆகிய வாயுக்களால் உட்கவரப்படுகிறது. மேலும் அதிக அலைநீளம் கொண்ட அகச் சிகப்புக் கதிர்கள் வளி மண்டலத்திலுள்ள கார்பன் டை ஆக்ஸைடு மற்றும் ஈரப்பதம் முதலியவற்றால்

உட்கவரப்படுகிறது. இதனால் புவிப்பரப்பை வந்தடையும் கதிர்வீச்சின் நெடுக்கம் 0.29μ முதல் 2.5μ வரை இருக்கும்.

சூரியனிலிருந்து வரும் கதிர்வீச்சு புவியின் வளி மண்டலத்திலுள்ள நீராவி, தூசுத் துகள்கள் கதிர்வீச்சின் ஒரு பகுதியை சிதறச் செய்கின்றன. இதனால் சிதறிய கதிர்வீச்சுத் தவிர மீதி விரவிய கதிர்வீச்சாக புவிப்பரப்பை வந்தடைகிறது.

433 **கழிவு** (Effluent)

தொழிற்சாலைகளில் உற்பத்தியாகி சூழலில் வெளிவிடப்படும் பொருளைக் கழிவு என்பர். எடுத்துக்காட்டாக, அணுக்கரு உலையின் எரிபொருளை மீண்டும் உபயோகத்திற்காகப் பதப்படுத்தும் பொழுது, சில வாயுக்களும், திரவங்களும் வெளிவருகின்றன. இவை மிகவும் நச்சுத் தன்மை வாய்ந்தவை. இக்கழிவுகளைக் கவனமாக வெளியேற்ற வேண்டும்.

434 **கனநீர்** (Heavy water)

நீரின் மூலக்கூறு H_2O-வில் உள்ள ஹைட்ரஜன் அணுவில் ஒரு புரோட்டானும் ஓர் எலக்ட்ரானும் உள்ளன. ஆனால் D_2O என்ற கனநீரின் டியூட்ரான் (Deuteron) அணுவில் ஒரு புரோட்டானும், ஒரு நியூட்ரானும், ஓர் எலக்ட்ரானும் உள்ளன. கனநீர் அணுஉலையில் நியூட்ரான்களின் வேகத்தைத் தணிக்கப் பயன்படுகின்றது. அணுஉலையில் அணுப்பிளவு ஏற்படும்போது வெளியாகும் அதிவேக நியூட்ரான்கள் அணுஉலையைச் சுற்றிச் செல்லும் கனநீரின் மூலக்கூறுகளில் மோதுகின்றன. மோதித் திரும்பிய நியூட்ரான்களின் வேகம் குறைகின்றது. வேகம் குறைந்த நியூட்ரான்கள் மறுபடியும் அடுத்த அணுவைப் பிளக்கச் செல்கின்றன. இந்நிகழ்ச்சி தொடர்ச்சியாக நடைபெறுகிறது.

435 **கிலோ வாட் – மணி** (Kilowatt - Hour)

மின்னாற்றல் ஒரு மின் கருவியில் உபயோகமாகும்போது ஒரு வினாடியில் ஒரு ஜூல் வெப்ப ஆற்றல், ஒளி ஆற்றல், அல்லது வேறு வகை ஆற்றலாக உண்டானால் அந்த அளவு மின்னாற்றலை ஒரு வாட் (Watt) என்கிறோம். இந்த அளவு மின்னாற்றல் போல் 1000 மடங்கு ஒரு மணி நேரத்தில் உண்டானால் அந்த அளவினை ஒரு கிலோ வாட் அவர் எனக் குறிப்பிடுகிறோம்.

436 **கெல்வின்** (Kelvin)

கெல்வின் என்பது தனி (absolute) வெப்பநிலை அளவுகோலின் அலகாகும். நீரின் உருகுநிலைக்கும் கொதிநிலைக்கும் உள்ள வெப்ப நிலை அளவில் நூறில் ஒரு பங்கு அளவே ஒரு கெல்வின் அளவாகும். இந்த அளவு வெளிக் காற்றுமண்டல அழுத்தத்தில் (atmospheric pressure) தெரிந்த பருமனுள்ள வாயுவைக் கொண்டு அதன் பருமன் அளவைக் கொண்டு கணிக்கப்படுகிறது. ஒவ்வொரு வெப்ப நிலைக்கும் வாயுவின் பருமனை அளந்து சென்றால் ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையில் பருமன் சுழியாகிறது. அந்த வெப்பநிலை அளவே சுழி கெல்வின் (absolute zero Kelvin) வெப்பநிலை ஆகும். அந்த வகையில் நீரின் உருகுநிலை 273 கெல்வின் அளவும், கொதிநிலை 373 கெல்வின் அளவும் பெறுகின்றன. கெல்வின் அலகு அளவும் சென்டிகிரேட் அல்லது செல்சியஸ் அலகு அளவும் ஒன்று. ஆனால சென்டிகிரேட் அளவின் சுழிநிலை நீரின் உருகுநிலையாகும். அதாவது $0°C = 273K$ (கெல்வின் என்பதை K என்று குறிப்பர்).

437 சிதைவுமாறிலி (Decay constant)

சிதைவு மாறிலி என்பது இயற்கை கதிரியக்க பொருட்களின் ஒரு சிறப்புப் பண்பாகும். ஒரு பொருளின் சிதைவு மாறிலி அளவு, புற உயர் அழுத்தம், வெப்பநிலை, புறமின்புலம் மற்றும் காந்தப்புலத்தால் மாற்றமடையாது. ஓரலகு நேரத்தில் சிதைவுறும் கதிரியக்கப் பொருளின் அளவுக்கும் தொடக்கத்தில் இருக்கும் பொருளின் அளவுக்கும் இடையேயான தகவு சிதைவு மாறிலி λ ஆகும். இதனை $\lambda = (-dN/dt)/N$ என குறிப்பிடுவர். மிகக் குறைந்த சிதைவு மாறிலி உள்ள ஐசோடோப் தோரியம் 90. இதன் சிதைவு மாறிலி $\lambda = 1.58 \times 10^{-18}$ செக-1. மிக அதிகமான சிதைவு மாறிலி உள்ள ஐசோடோப் பொலோனியம் 84. $_{84}Po^{212}$-ன் சிதைவு மாறிலி 2.31×10^{6} செக$^{-1}$. கதிரியக்கப் பொருட்களின் சிதைவுமாறிலியைக் கணக்கிட பல முறைகள் பயன்படுகின்றன. அதிகச் சிதைவு மாறிலி λ அளவுள்ள கதிரியக்கப் பொருட்களின் சிதைவு மாறிலியை அளக்க கதிரியக்கப் பொருளின் செறிவின் மடக்கை மதிப்புக்கும் நேரத்திற்கும் இடையே வரைபடம் வரைய நேர்கோட்டு வரைபடம் கிடைக்கிறது. இதன் சரிவு அளவு பொருளின் சிதைவு மாறிலியைக் கொடுக்கும். குறைந்த சிதைவு மாறிலி λ அளவுள்ள பொருட்களின் சிதைவு மாறிலியை, வெளிப்படும் α துகள்களின் எண்ணிக்கையைக் கொண்டு கணக்கிடலாம்.

438 சூரிய ஆற்றல் (Solar energy)

சூரிய ஆற்றல் அளவற்றதும் ஆனால் அதிகம் பயன்படுத்தப்படாததும் ஆன ஆற்றல் மூலமாகும். சூரியனிலிருந்து வரும் ஆற்றலில் புவியின் மீது குறுக்கிடும் திறன் தோராயமாக 1.8×10^{11} Mw எனக் கணக்கிட்டுள்ளனர். இது தற்போது புவியில் பயன்படுத்தப்படும் பல வகையான ஆற்றல் வீதத்தின் மொத்த அளவை விட 20000 மடங்கு அதிகமாகும். இதனால் வருங்கால ஆற்றல் தேவைக்கு தொடர்ந்து பயன்படுத்தக் கூடியதாக சூரிய ஆற்றல் உள்ளது.

சூரிய ஆற்றலில் ஒரு பகுதி கடல் நீரை நீராவியாக்குவதால் நதிகள், சிறு நீரோடைகள், நீர் வீழ்ச்சிகள் உருவாகின்றன. ஒவ்வோர் ஆண்டும் சூரிய ஆற்றல் 4,16,500 கி.மீ. பருமனுள்ள நீரை நீராவியாக மாற்றுகிறது எனக் கணக்கிட்டுள்ளனர். தாவரங்கள் சூரிய ஆற்றலைக் கொண்டு ஒளிச்சேர்க்கை முறையில் (photo synthesis method) தமக்குத் தேவையான உணவைப் பெறுகின்றன. புவிப்பரப்பின் ஒவ்வொரு சதுர கிலோ மீட்டரில் ஒரு நாளில் பெறும் சூரிய ஆற்றலின் அளவு 7.5×10^{6} Kwh ஆகும். சூரிய ஆற்றலை 20% பயனுறு திறனில் மின்னாற்றலாக மாற்றினால் ஒவ்வொரு சதுர கிலோ மீட்டரில் 1.5 மில்லியன் Kwh மின்னாற்றலை ஒவ்வொரு நாளும் உருவாக்கலாம். இதில் கனிம எரிபொருள் மற்றும் அணுக்கரு மின்திறன் உருவாக்குவதில் உள்ள சுற்றுப்புறத் தூய்மைக் கேடுகள் ஏற்படாது.

439 சூரிய ஆற்றல் குளம் (Solar pond)

சூரிய ஆற்றலைச் சேகரித்துச் சேமித்து வைக்கும் இரு செயல்களையும் செய்யக்கூடிய ஒரு நவீன அமைப்பு. இது ஒரு பரந்த அமைப்புடன் கூடிய ஒரு மீட்டர் முதல் இரண்டு மீட்டர் வரை ஆழம் கொண்ட நீர் நிரம்பிய தொட்டியாகும். இதிலுள்ள நீரில் சோடியம் குளோரைடு அல்லது மக்னீசியம் குளோரைடு கரைக்கப்பட்டிருக்கும். இதன் மேல் பரப்பு நீரில் உப்பின் செறிவு குறைவாகவும் ஆழத்திலுள்ள நீரில் செறிவு அதிகமாகவும் அமைக்கப்படுகிறது. இதன் அடிப்பகுதியில் கரைசலின் செறிவு 20 முதல் 30 விழுக்காடும் மேற்பரப்பில் ஏறத்தாழ செறிவு சுழியாகவும் இருக்கும். இதன் அடிப்பகுதியில் நீடித்து உழைக்கும் தடித்த பிளாஸ்டிக் விரிப்பு அமைக்கப்படுகிறது. இதற்கு நைலான் வலையுடன் வலு வூட்டப்பட்ட கருமையான பாலி எதிலீன் மற்றும் ஹைபலான் (black polyethylene and hypolon) போன்ற பொருட்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஆழத்தில் இருக்கும் நீரின்

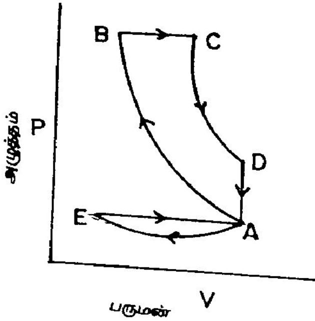
அடர்த்தி பரப்பு நீரின் அடர்த்தியைவிட அதிகமாக இருப்பதால் ஆழத்தில் உள்ள நீரின் வெப்பநிலை அதிகமாக இருந்தாலும் இயற்கையான வெப்பச் சலனம் ஏற்படாது. இதனால் சூரிய ஆற்றல் இதன் ஆழங்களிலுள்ள நீரால் உட்கவரப்பட்டு வெப்ப ஆற்றல் சேகரிக்கப்படுகிறது. மேலும் மேற்பரப்பு நீரானது வெப்பக்காப்பானாகவும் செயற்படும்.

440 சூரிய ஒளியேற்பி (Solar absorber)

இது தன்மீது படும் ஒளிக்கதிர்களை ஏற்றுக் கொள்ளும் ஒரு கறுப்புநிறத் தட்டு. சூரியன் எல்லா அலைநீளக் கதிர்களையும் உமிழும் தன்மை கொண்டது. அதேபோல் சூரிய ஒளியேற்பியும் தன்மீது படும் எல்லா அலைநீளக் கதிர்களையும் ஏற்றுக் கொள்ளும் தன்மையும், திருப்பி உமிழும் தன்மையும் கொண்டது. சூரிய ஒளியேற்பியின் தன்மைகளைப் பொறுத்து ஒரு குறிப்பிட்ட விழுக்காடு ஒளியாற்றல் வெப்ப ஆற்றலாக மாற்றியமைக்கப்படுகிறது.

441 டீசல் பொறி (Diesel engine)

டீசல் பொறி, உள்ளெரி பொறிகளில் (internal combustion engine) ஒரு வகையாகும். ஆட்டோ பொறிகளில் இறுக்குதல் தாக்கு, குறிப்பிட்ட அளவுக்கு மேல் இறுக்கப்படின் இத்தாக்கு முடிவதற்குமுன் வெடித்தல் ஏற்படுவதால் ஆபத்தை விளைவிக்கும். இந்த ஆபத்தின்றி அதிக அளவு இறுக்குவதற்கான அமைப்பைக் கொண்ட பொறியே டீசல் பொறியாகும். இப்பொறியில் நான்கு தாக்குகள் உள்ளன. ஏற்குதல் தாக்கில் காற்று மட்டும் உருளைக்குள்ளே எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது. இறுக்குதல் தாக்கில் காற்று அதன் தொடக்கப் பருமனில் 17ல் 1 பங்குக்கு குறையுமாறு இறுக்கப்படுகிறது. இந்த இறுக்குதல் தாக்கினால் காற்றின் வெப்பநிலை சுமார் 1000°C அளவு உயரும். இவ்வெப்பநிலை டீசலின் எரிநிலையைவிட உயர்ந்த வெப்பநிலையாகும். உந்து தண்டின் வேலை செய்யும் வீச்சின் தொடக்கத்தில் ஒரு வால்வு திறக்கப்பட்டு டீசல் ஆவி பம்பின் உதவியால் வலிந்து உட்புகுத்தப்படுகிறது. இதனால் எரிபொருள் தானாக எரிந்து வெப்ப ஆற்றலை உருவாக்கும்.



டீசல் பொறி செயற்படும் முறை படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் EA, AB, BC, CD, DA மற்றும் AE கோடுகள் முறையே ஏற்குதல், இறுக்குதல், எரிதல் பெருக்குதல், விடுவித்தல் மற்றும் போக்குதல் போன்ற நிகழ்ச்சிகளைக் காட்டுகிறது. இதன் பயனுறு திறன் 63 % என கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. இது ஆட்டோ பொறியைவிட அதிகம். இதில் மலிவான தூய்மை குறைந்த டீசல் பயன்படுத்துவதால் இயக்கச் செலவு குறைவாக அமையும்.

442 தணிப்பான் (Moderator)

அணுக்கருப்பிளப்பின் விளைவாக வெளியிடப்படும் நியூட்ரான்களின் வேகம் மிகவும் அதிகமானது. இதன் வேகம் ஒளியின் வேகத்தில் 1/15 ஆக இருக்கும்பொழுது அதன் ஆற்றல் இரண்டு மில்லியன் எலக்ட்ரான் வோல்ட் (MeV). இதன் வேகம் சுற்றுப்புறத்தில் உள்ள பொருட்களின்மேல் மோதுவதால் குறைகிறது. இந்த வேகக் கட்டுப்பாடு, சில குறிப்பிட்ட பொருட்களின் மேல் மோதுவதால் மிகவும் சீராக நிகழ்கிறது. இதற்கெனச் சில மென் பொருட்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. (உ.ம்) கனநீர் (D_2O), கிராபைட் (graphite), ஹைட்ரைட்டுகள் (hydrites), ஆக்ஸைடுகள் (oxides), ஹைட்ரோ

கார்பன்கள் (hydrocarbons). இவ்வாறு வேகம் குறைக்கப்பட்ட நியூட்ரான்களுக்கு வெப்ப நியூட்ரான்கள் (thermal neutrons) என்று பெயர்.

443 நீர்ம நீக்கம் (Dehydration)

திண்ம, நீர்ம மற்றும் வாயுப் பொருட்களிலிருந்து நீரை நீக்குவதே நீர்ம நீக்கம் ஆகும். இச்செயல் இயற்பியல் அல்லது வேதியல் மாற்றங்கள், அல்லது இரு வகை மாற்றங்களையும் கொண்டிருக்கும். நீர்ம நீக்கம் பல தொழில் துறைகளிலும் மற்றும் அறிவியல் ஆய்வுகளிலும் முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததாக உள்ளது. நீர்ம நீக்கம் உணவைப் பதப்படுத்துதல், காற்றுப் பதமாக்கல், நீர்ம மாக்கப்பட்ட வாயுக்களைத் தயார் செய்தல் மற்றும் பெரிய அளவிலான தொழில்துறை செயல்களிலும் பயன்படுகிறது. வாயுக்களிலுள்ள நீராவியை நீக்க வாயுக்களை அழுத்தும் முறை பயன்படுகிறது. பெருமளவு மற்றும் முற்றிலும் நீர்ம நீக்கம் செய்ய வாயுக்களை அழுத்தும் முறையுடன் தாழ்வெப்பநிலை குளிர் பதனேற்றமும் பயன்படுத்தப்படுகிறது. உணவு மற்றும் மருந்துப் பொருட்களிலிருந்து நீர்ம நீக்கம் செய்ய உறைதல் முறை பயன்படுகிறது. உணவுப் பொருட்களிலுள்ள ஈரப்பதத்தை நீக்குவதால் நுண்ணுயிரிகளுக்குத் தகுதியிலாத சுற்றுப் புறம் உருவாகிறது. ஏனெனில் அவற்றின் பெருக்கத்திற்கு ஈரப்பதம் தேவையாகிறது. இதனால் நீர்ம நீக்கம் உணவுப் பொருட்களில் பாக்டீரியாவின் வளர்ச்சியை கட்டுப்படுத்துகிறது. கனிமக் கரை பொருட்களான நீர்மங்களை உலர்த்த, நீரை உட்கவரும் பேரியம் ஆக்ஸைடு மற்றும் நீர்ம நீக்கம் செய்யப்பட்ட கால்சியம் சல்பேட் போன்ற பொருட்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

444 நீர் மின்சாரம் (Hydro-electricity)

நீர் நிலைகளில் உள்ள நீரை உயரமான இடத்திலிருந்து கீழிறக்கி டர்பைன் எனும் சுழல் சக்கரத்தைச் சுழற்றச் செய்கின்றனர். டர்பைனுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள ஆர்மச்சூர் எனும் சுழல்தண்டில் உள்ள மின்கம்பிச் சுற்று காந்தப்புலத்தில் சுழல்வதால் காந்தப்பாயம் மின்கம்பிச் சுற்றில் மாறுபடுகிறது (flux-change). இதன் விளைவால் மின்கம்பிச் சுற்றில் தூண்டுவிசை (induced emf.) பிளெமிங் வலதுகை விதியின்படி உருவாகிறது. கம்பிச் சுற்றின் முனைகளை ஒரு மின் கருவியுடன் இணைக்கும்போது தூண்டப்பட்ட மின்சாரம் பாய்கிறது. இந்த அமைப்பு டைனமோ எனப்படுகிறது. கம்பிச் சுற்றின் முனைகளில் அரைவட்டத் தகடுகள் அமைத்தால் நேர் மின்னோட்டமும், முழுவட்டத் தகடுகள் வைத்தால் மாறுதிசை மின்னோட்டமும் பெறலாம். ஆர்மச்சூரில் ஒரு கம்பிச் சுருள்திரள் இருப்பின் அதனை ஒரு முனை (single phase) மின்னோட்டம் என்பர். மூன்று கம்பிச் சுருள்திரள் இருப்பின் மும்முனை (three phase) மின்னோட்டம் என்பர். பொதுவாக நம் நாட்டில் அமைந்திருக்கும் டைனமோவில் நியூட்ரல் (neutral) எனும் குறைந்த மின்னழுத்த முனைக்கும் லைன் (line) எனும் அதிக அழுத்த முனைக்கும் உள்ள மின்னழுத்தம் 230 வோல்ட் ஆகும். இந்த மின் அழுத்தம் ஒரு முனையில் ஒரு வினாடியில் 50 முறை ஆர்மச்சூர் சுழற்றுவதால் திசை 50 முறை மாறுகிறது. மின்புலம் உருவாக்க பொதுவாக ஆர்மச்சூர் உள்ள வட்டச் சட்டத்தில் உள்ள மிருது இரும்புத் துண்டுகள் மீது (soft iron) தொடர்ச்சியான கம்பிச்சுருள் சுற்றப்பட்டிருக்கும்.

445 நேர்வழி முடுக்கி (Linear accelerator)

அணுவைப் பிளப்பதற்கு சைக்ளோட்ரான் (cyclotron) போன்ற முடுக்கிகளைக் கொண்டு அயனிகள் (ions) முடுக்கி வைக்கப்படுகின்றன. இக்கருவிகளில் மாறுதிசை மின் விசையையோ, காந்த விசையையோ கொண்டு அயனிகள் அதிவேகத்தில் முடுக்கப்படுவதற்குச் சிக்கலான தொழில் நுட்பமும் அதிகச் செலவும் பிடிக்கின்றன. இதன்பொருட்டு நேர்வழி முடுக்கி செயற்படுகிறது. மிக நீளமான (காட்டாக, 3 கி.மீ.) தூரம் மின் கடத்திக் குழாயினுள் மின்காந்த அலைகளை ஒளி அலைவேகத்திற்கும் சற்று

குறைந்த வேகத்தில் செலுத்துகின்றனர். அதனுடன் எலக்ட்ரான்கள் அனுப்பப்படுகின்றன. குறைந்த வேகத்தில் மின்காந்த அலையுடன் கலக்கும்போது எலக்ட்ரான்கள் தூரம் செல்லச் செல்ல அவற்றின் வேகம் முடுக்கப்படுகிறது. அவை குழாயின் மறுமுனையைச் சென்றடையும்போது அதிக ஆற்றலும் (ஏறத்தாழ 20 மெகா வோல்ட்) அதிக வேகமும் கொண்டு வெளியேறுகின்றன. இந்த எலக்ட்ரான்கள் அணுவைப் பிளக்கப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

446 பழுப்பு நிலக்கரி (Lignite)

தாவரங்கள் மடிந்து, நசிந்து, மட்கி, இறுகித் தம்முள் இருக்கும் நீரையும், வாயுவையும் இழந்து, கார்பன், நைட்ரஜன், ஆக்ஸிஜன், ஹைட்ரஜன் ஆகிய அணுக்களால் ஆன பாறைகளாக, வேதியல் வினைகளால் இவ்வணுக்களின் அளவில் மாற்றம் ஏற்பட்ட நிலையில் வெவ்வேறு பாறை வகைகளாக மாறுகின்றன. தாவரங்கள் இறந்தவுடன் உள்ள நிலை விறகு (wood), நசித்து மட்கும் நிலை மக்கு (peat); இறுக்கம் கட்டும்போது முதலில் உருவாவது பழுப்பு நிலக்கரி (Lignite); பிறகு பிட்டுமினஸ் நிலக்கரி (bituminous coal); இறுதியாக ஆந்த்ரசைட் (anthracite) – என்ற நிலக்கரி வகைகள் உருவாகின்றன.

20% ஈரப்பதம் கொண்ட பழுப்பு நிலக்கரியில் 49.65% கார்பனும், 6.23% ஹைட்ரஜனும், 0.92% நைட்ரஜனும், 43.20% ஆக்சிஜனும் உள்ளன. ஒரு கிராம் பழுப்பு நிலக்கரி 7 முதல் 11 மில்லியன் ஜூல் வெப்ப ஆற்றல் கொண்டது.

447 பிளாஸ்மா (Plasma)

வெளியிடத்திலுள்ள விண்மீன்களிலும் ஒளி முகில்களிலும் (nebulae) பொருட்களின் அடிப்படையான வடிவமே பிளாஸ்மா எனக் குறிப்பிடுகிறோம். ஒரு வாயுவிற்கு அதன் உயர் வெப்ப நிலையில் இன்னும் அதிக ஆற்றல் கொடுக்கப்பட்டால் மூலக்கூறுகளின் இயக்க ஆற்றல் அதிகமாகும். இதனால் அணுக்கள் உயர்ந்த ஆற்றலுடன் வன்மையாக மோதிக் கொள்ளும். இதனால் அணுக்களிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள், நேர்மின் அயனிகள் தனித்தனியே பிரிக்கப்படுகின்றன. இந்த நிலையில் வாயுவானது பிளாஸ்மா நிலையிலுள்ளதாகக் குறிப்பிடப்படுகிறது. பிளாஸ்மா என்பதை பருப்பொருளின் திண்ம, நீர்ம, வாயு என்ற வரிசையில் நான்காம் நிலை எனவும் குறிப்பிடுகிறார்கள். பிளாஸ்மா என்பது அயனிகள், எலக்ட்ரான்கள் மற்றும் நடுநிலை அணுக்களின் தொகுப்பு ஆகும். பிளாஸ்மாவில் சம அளவு நேர்மின்னூட்டம் மற்றும் எதிர் மின்னூட்டம் கொண்ட துகள்கள் இருக்கும். இரு மின்னூட்டத் துகள்களும் இயக்கத்தில் இருக்கா. நேர்மின்னூட்டம் கொண்ட துகள்கள் நிலையாக இருக்கும்.

செயற்கையாக பிளாஸ்மாவை உருவாக்க வாயுக்களை 50,000°Cஐ விட அதிக வெப்பநிலைகளுக்கு உயர்த்த வேண்டும். அண்டத்திலுள்ள பருப்பொருட்களில் 99% பிளாஸ்மா எனக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. அயனி மண்டலத்தில் செறிவு குறைந்த பிளாஸ்மா காணப்படுகிறது. மின்னல், பிளாஸ்மாவுக்கான ஒரு சிறந்த எடுத்துக்காட்டு. சூரியன், வெப்ப விண்மீன்கள், வெளியிட பருப்பொருள் மேகங்கள்–இவை . அனைத்தும் பிளாஸ்மாவுக்கான எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

448 புதுப்பிக்கப்படும் ஆற்றல் (Renewable energy)

புதுப்பிக்கப்படும் ஆற்றல் என்பது சூரியனிலிருந்தும், புவியிலிருந்தும், சூரியக் குடும்பம் (solar system) உள்ள வரை, தொடர்ந்து நம்மை வந்தடையு ம் ஒரு வகை ஆற்றலாகும். புதுப்பிக்கப்படும் ஆற்றலில் சூரியனிலிருந்து வரும் ஆற்றல் கீழே குறிப்பிட்டுள்ள பல வழிகளிலும் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

1. குறைந்த உயர் வெப்ப நிலைகளைப்பெற நேரடிச் சூடேற்று முறை பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதற்கு சூரியத் தட்டிகள் (solar panels) பயன்படும். 2. சூரிய ஒளி நேரடியாக கடல் நீரை சூடேற்றுவதால், பெருமளவு வெப்ப ஆற்றல் கடல் நீரில் சேமிக்கப்படுகிறது. கடல் வெப்ப ஆற்றல் மாற்று முறையால் (OTEC) பெருமளவு ஆற்றலைப் பயன்படுத்தலாம். 3. சூரிய உலைகளில் (solar furnace), குழி ஆடிகளைக் கொண்டு ஆற்றல் குவிக்கப்படுவதால் உயர் வெப்ப நிலைகள் உருவாக்கப்படுகின்றன. 4. சூரிய மின் கலங்களில் (solar cells) நேரடியாக சூரிய ஆற்றல் மின்னாற்றலாக மாற்றப்படுகிறது. 5. சூரிய ஆற்றலால் தாவர இனங்களை வளர்த்து அதிலிருந்து ஆற்றல் பெறப்படுகிறது (biomass). 6. சூரிய ஆற்றல் புவியின் தட்ப வெப்ப நிலைகளை கட்டுப்படுத்துவதால் ஏற்படும் காற்று மற்றும் கடல் அலைகளிலிருந்து ஆற்றல் பெறப்படுகிறது.

புதுப்பிக்கப்படும் ஆற்றலின் மற்றொரு வகை புவியிலிருந்து கிடைப்பது. புவியின் மையப்பகுதி கதிர்வீச்சு சிதைவுறுதலுடன் கூடிய உருகிய பாறைகளாக உள்ளன. இது நிலையான அதிக வெப்பத்தை உருவாக்குகிறது. இவ்வெப்பத்தைக் கொண்டு நீரைச் சூடேற்றி, நீராவியை உண்டாக்கலாம்.

புதுப்பிக்கப்படும் ஆற்றலின் 3-ம் வகையாக, சூரியன் மற்றும் நிலவின் புவியீர்ப்பு விசையாலும், புவியின் தற்சுழற்சி இயக்கத்தாலும் மிக உயரமாக உருவாகும் அலைகளிலிருந்து (tides) பெறப்படும் ஆற்றலைக் கூறலாம்.

449 பெட்ரோலியம் (Petroleum)

பெட்ரோலியம் என்பது பாறை எண்ணை (rock oil) எனக் குறிப்பிடப்படுகிறது. கனிம தாவரங்கள், விலங்கு எச்சங்கள் புவியின் ஆழத்திலுள்ள வண்டல் கசடுகளில் 1 முதல் 600 மில்லியன் ஆண்டுகளுக்கு முன் சேமித்துப் புதைக்கப்பட்டுள்ளன. காற்றில்லா நிலையில் வெப்ப அழுத்தம், ஆழத்தைப் பொருத்து அதிகமாகும். வேதியல் வினைகளுடன் பாக்டீரியா செயற்பாடுகளினால் தாவர மற்றும் மிருக மீதிகள் பெட்ரோலியம் மற்றும் இயற்கை வாயுவாக மாற்றப்படுகின்றன. இவ்வாறு உருவாக்கப்படும் பெட்ரோலியம் மூலப்பாறையினுள் தேங்கியிருக்கும். மேலும் இவை மூலப்பாறைகளிலிருந்து பக்கவாட்டில் மற்றும் நேர்குத்தாக மேல்நோக்கி நகர்ந்து தற்போது கிடைக்கப் பெறும் பாறைகளுக்கு இடம் பெயருகின்றன.

9000 அடிவரை ஆழமுள்ள கிணறுகளில் பெட்ரோலியம் கிடைக்கிறது. இந்த ஆழங்களில் 25°C முதல் 225°C வரை வெப்பநிலை வேறுபடும். அழுத்தமும் அதிகமாக வேறுபடுகிறது. பெட்ரோலியம் மற்றும் இயற்கை வாயு தேங்கியுள்ள மண்டலங்களில் 1000 அடி உயரம் வரை இவை பரவி இருக்கும். மேலும் 300 கி.மீ.^{2} அளவு பரப்புகளில் தேக்கப்பட்டிருக்கும். இவ்வகைக் கிணறுகளுக்கிடையே உள்ள தொலைவு 50 மீ முதல் 1.6 கி.மீ வரை இருக்கும். இவ்வகைக் கிணறுகளிலிருந்து 100 முதல் ஆயிரக்கணக்கான பாரல் எண்ணை ஒரு நாளில் கிடைக்கும். (1 பாரல் = 0.135 டன்களாகும்). இந்தியாவில் சுமார் 1300-க்கும் மேற்பட்ட பெட்ரோலியக் கிணறுகள் உள்ளன.

450 மனித ஆற்றல் (Human energy - metabolic energy)

மனித உடல் ஆற்றலை ஒரு நிலையிலிருந்து மற்றொரு ஆற்றல் நிலைக்கு மாற்றும் எந்திரமாகும். உடல் இயங்கும்போது உட்கொள்ளும் உணவு வெப்ப ஆற்றலாக மாறுகிறது. இந்த வெப்ப ஆற்றல் மனிதனின் பருமனுக்கு நேர்த்தகவில் உண்டாகிறது. பெரும்பாலும் திசுக்கள் அடர்த்தி ஏறக்குறைய ஒரு கிலோகிராம்/மீட்டர்^{3} ஆகும். ஆகவே வெப்ப ஆற்றல் பருமனைப் பொறுத்தது எனலாம். உடல் பருமனில் உண்டாகும் வெப்ப ஆற்றல் அதனுடைய வெளிப்பரப்பின் (surface) மூலம் வெளியேற்றப்படுவதால் உட்கொள்ளும்

உணவின் அளவு மனிதனின் மொத்தப் பரப்பளவிற்கும் மொத்தக் கனஅளவிற்கும் உள்ள தகவால் தீர்மானிக்கப்படுகிறது. இத்தகவு அதிகமாக இருப்பின் உடம்பின் வெப்ப நிலையைச் சீராக வைத்துக் கொள்ள அதிக கலோரி உள்ள உணவை உட்கொண்டு உடல் இயக்கத்திற்கு (metabolism) ஈடுகட்ட வேண்டியிருக்கிறது. எந்த உருவத்திலிருக்கும் பிராணிக்கும் இத்தகவு அமைப்புப் பொருந்தும். காட்டாக, 5 கிராம் எடையுள்ள குருவியின் உடம்பு சுமார் 65 கலோரி/கிராம் வெப்பத்தையும், 65 கிலோ எடையுள்ள மனித உடம்பு சுமார் 5 கலோரி/கிராம் வெப்பத்தையும் உடலியக்கத்தால் உண்டாக்குகின்றன.

451 மாற்று எரியாற்றல் (Alternative energy)

ஆய்வுகளின்படி இப்போது நாம் பயன்படுத்திவரும் கனிம எரிபொருட்கள் யாவும் குறுகிய காலத்தில் தீர்ந்து விடும் என்று தெரிகிறது. எனவே வருங்காலத்தில் மக்களின் எரிபொருள் தேவைகளுக்கு மாற்று எரிபொருட்கள் பயன்படுத்தப்படவேண்டிய கட்டாயம் உள்ளது. அணுவாற்றலும், சூரிய ஆற்றலும் மாற்று எரியாற்றல்களில் முக்கியமானவை ஆகும். அணுவாற்றலைப் பயன்படுத்துவதற்கு மிக நுண்ணிய தொழில் நுட்பங்கள் தேவை. மேலும் அணுவாற்றலினால் பல வேண்டாத பின்விளைவுகள் ஏற்படலாம். ஆனால சூரிய ஆற்றலைப் பயன்படுத்த எளிய தொழில் நுட்பங்கள் போதுமானவை. மேலும் சூரிய ஆற்றலினால் வேண்டாத பின்விளைவுகள் ஒன்றும் இல்லை. எனவே சூரிய ஆற்றல்தான் பிற்கால மாற்று எரியாற்றல்களில் பெரும் பங்குள்ளதாக அமையும்.

452 மின்கலம் (Battery)

மின்கலம் என்பது மின்னாற்றலை வேதியியல் ஆற்றலாக மாற்றிச் சேமித்து வைக்கும் ஒரு கருவியாகும். இதில் இரண்டு மின்வாய்களும், ஒரு மின்பகுளியும் உள்ளன. இரண்டு மின்வாய்களில் ஒன்று நேர்மின்வாய், இன்னொன்று எதிர்மின்வாய். மின்பகுளி வழி நேர் மின்சாரம் எதிர் திசையில் பாயும்போது வேதிவினை ஏற்பட்டு, அணுக்கள் அயனிகள் (ions) ஆகவும் எலக்ட்ரான்கள் ஆகவும் பிரிகின்றன. இதனால் ஒரு மின்னழுத்த வேறுபாடு தகடுகளுக்கு இடையில் ஏற்படுகிறது. இரண்டு மின்வாய்களையும் ஒரு கடத்தி மூலம் இணைத்தால் மின்னோட்டம் நிகழ்கிறது. மின்கலங்கள் முதல்நிலை மின்கலம், இரண்டாம்நிலை மின்கலம் என இரண்டு வகைப்படும். முதன்நிலை மின்கலங்களில் வினைவலிவு மிக்க பொருட்கள் முற்றிலும் மாறாமல் வினைபுரிந்து கொண்டிருக்கும் வரைதான் அவற்றின் வேதிவினை புரிதன்மை மின்னாற்றலைத் தந்து கொண்டிருக்கும். கார்பன் - விங்க் உலர் மின்கலம் இவ்வகையைச் சார்ந்தது. இரண்டாவது வகை மின்கலங்களில் இவ்வாறன்றி மின்னாற்றலைத் தரும் பண்பு குறைந்த உடன் மறுமுறையும் மின்னேற்றம் செய்து கொள்ள இயலும். அமில லெட் மின்கலம் இவ்வகையைச் சார்ந்தது.

453 மோட்டார் (Motor)

இது மின்சாரத்தில் சுழலும் ஓர் எந்திரம். இதன் அடிப்படை, மின்சார ஆற்றலை எந்திர ஆற்றலாக மாற்றுவது. இது பல தரப்பட்ட வேலைகளில் பயன்படுத்தப்படுகிறது; ஓர் எந்திரத்தை, இயக்கத் தொடங்கவும், வேகத்தைக் கட்டுப்படுத்தவும், குறிப்பிட்ட இடத்தில் நிறுத்தவும, முழுவதுமாக நிறுத்தவும், என்று பலதரப்பட்ட பயன்கள் இதற்கு உள்ளன. இதன் குதிரை ஆற்றலின் (horse-power) அடிப்படையில் இதை வகைப்படுத்துவர். பொருத்தப்பட்ட சாதனத்தைச் சார்ந்து இதன் வேகம் மாற்றமுடியாத (synchronous), அல்லது, மாற்றத்தக்க நிலையில் அமைகிறது. இது, நே.மி மோட்டார்கள், மா.மி மோட்டார்கள் என இரண்டு வகைப்படும். இரண்டிலும் பலவகை உள்ளன. நே.மி மோட்டார்கள் நடைமுறையில் அதிகம் இருந்தாலும், மா.மி மோட்டார்கள் பயன்படுத்த எளிதானவை {நே.மி நேர் மின் னோட்டம்; மா.மி மாறுதிசை மின்னோட்டம்}.

454 லேசர் அணுக்கருப் பிணைப்பு உலை (Laser fusion reactor)

குறைந்த அணு நிறையுள்ள (atomic mass) இரண்டு அணுக்கருக்கள் பிணைவதற்கு அணுக்கருப் பிணைப்பு (nuclear fusion) என்று பெயர். இப்பிணைப்பிற்கு அதிக வெப்பமும் அழுத்தமும் தேவைப்படுகிறது. காட்டாக, 4 ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் பிணைந்து ஒரு ஹீலியம் அணு உருவாகிறது. இந்நிகழ்ச்சி நடைபெற அணு உலையில் அதிக அழுத்தமும் அதிக வெப்பமும் இருக்குமாறு அமைக்கப்படுகிறது. மேலும் இந்தப் பிணைப்பின்போது ஏறக்குறைய 28.4 மில்லியன் எலெக்ட்ரான் வோல்ட் ஆற்றல் உருவாகிறது. இந்த அதிக வெப்ப ஆற்றலே மின் உற்பத்தி போன்ற ஆக்கபூர்வமான செயல்களுக்குப் பயன்படுத்தப் படுகின்றது. லேசர் அணுப்பிணைப்பு உலை ஒரு கோள வடிவமானது. அதன் மையத்தில் டியூட்ரியம் (deuterium), டிரிசியம் (tritium) போன்ற குறைந்த அணுத்திணிவு வில்லைகளை (pellets) முடுக்கிகளின் (accelerators) மூலம் விழச் செய்கின்றனர். அறையின் பல்வேறு திசையிலிருந்தும் மிக உயர் திறனுள்ள லேசர் கொத்துக்களை (laser pulses) மையத்தை நோக்கி ஒரே நேரத்தில் (synchronously) வீசச் செய்கின்றனர். இதனால் மையத்தில் 20 மில்லியன் கெல்வின் அளவு வெப்பமும் மின் அழுத்தமும் ஏற்பட்டு வில்லையிலுள்ள அணுக்கருக்கள் இணைந்து அதிக வெப்ப ஆற்றல் உருவாகிறது. இவ்வாற்றல் அணுப்பிளவு ஆற்றலைவிட அதிகமானது.

455 வெப்ப வெளியீட்டுத் தகவு (Emissivity)

இது ஒரு கரும்பொருள் அல்லாததின் கதிர்வீச்சுச் செறிவுக்கும், ஒரு கரும்பொருளின் கதிர்வீச்சுச் செறிவுக்கும், உள்ள தகவு. இதை ε என்று குறிப்பிடுவார்கள். இது ஒன்று அல்லது அதற்குக் குறைவாகவோதான் இருக்கும். (≤ 1). ஒரு கரும்பொருள் அல்லாததின் ஒளி வெளியிடு அல்லது உள்ளிழுக்கும் பண்புகளை விளக்க இது உதவும். வெப்பநிலைக்கேற்பவும், நிறமாலை முழுவதும் இது மாறும்.

456 ஜூல் (Joule)

ஆற்றலின் அலகு ஜூல் ஆகும். இவ்வலகு எந்திர ஆற்றலுக்கும் வெப்ப ஆற்றலுக்கும் பயன்படுத்தப்படுகிறது. "ஒரு கிலோ கிராம் பொருண்மையுள்ள ஒரு பொருள் ஒரு நியூட்டன் விசையுடன் (F) ஒரு மீட்டர் தொலைவு (d) இடம் பெயர்ந்தால் வேலை (W) செய்வதற்குரிய ஆற்றலின் அளவு ஒரு ஜூல் எனப்படுகிறது". அதாவது $W = Fd$ ஜூல்.

வெப்ப ஆற்றலைக் குறிப்பிடும்போது ஒரு கலோரி வெப்ப ஆற்றலானது 4.186 ஜூல் எந்திர ஆற்றலுக்குச் சமம். இதனால் வெப்ப ஆற்றலையும் ஜூல் அலகுகளால் குறிப்பிடலாம். James P. Joule என்பார் பெயரில் இவ்வலகு விளங்குகிறது.

457 ஹைட்ரஜன் சேமிப்பி (Hydrogen storage)

ஹைட்ரஜன் நிறமற்ற, சுவையற்ற, மணமற்ற, இனமற்ற வாயு. இதனைப் பல வகைகளிலும் சேகரித்து வைக்கலாம். பல்லேடியம் (palladium) உலோகம் இதனை மிகுதியாக ஈர்த்துக் கொள்கிறது. சூடுபடுத்தினால் தூய வாயு வெளியாகிறது. மேலும் சோடியம், பொட்டாசியம், கால்சியம் உலோகங்களுடன் சேர்த்து அதன் ஹைட்ரைடாக சேமித்து வைக்கலாம். அதிக அழுத்தத்திலும் அதிக வெப்பத்திலும் நைட்ரஜனுடன் சேர்த்து அம்மோனியாவாக மாற்றலாம். அம்மோனியா குளிரூட்டுப் பெட்டிகளிலும், உரம், வெடி மருந்து தயாரிப்பதற்கும் பயன்படுகிறது. கார்பன் மோனாக்சைடுடன் ஹைட்ரஜன் கூடி சிங்க் ஆக்ஸைடு மற்றும் தாமிர நுண்தூள் கலவை கிரியா ஊக்கியால் மெதில் ஆல்கஹாலான எரிபொருளாகச் சேமிக்கலாம். அதே சூழ்நிலையில் கார்பனும் ஹைட்ரஜனும் சேருகையில் செயற்கைப் பெட்ரோலியப் பொருட்களான கேசேரலின் (gasoline),

மண்ணெண்ணை (kerosene) மற்றும் உராய்வு எண்ணெய் (lubricating oil) ஆகியவை தோன்றுகின்றன.

எரிபொருள் மின்கலத்தில் (fuel electric cell) கார்பன் மின்தண்டுக் குழாய்கள் (electrode tubes) பொட்டாசியம் ஹைட்ராக்சைடு (pottassium hydroxide) மின் திரவத்தில் (electrolyte) வைக்கப்பட்டுள்ளன. ஆக்சிஜன் வாயுவையும் ஹைட்ரஜன் வாயுவையும் தனித்தனியே செலுத்தும்போது கார்பன் மின்தண்டுக் குழாய்மூலம் பொட்டாசியம் மின்திரவத்தில் கலக்கிறது. இரண்டுவகை மின்தண்டுக் குழாய்களை ஒரு மின் கருவியுடன் இணைத்தால் கருவியில் ஹைட்ரஜன் உள்ள தண்டுக் குழாய்களிலிருந்து எலக்ட்ரான்கள் நகருகின்றன. இதனால் ஹைட்ரஜனும் ஆக்ஸிஜனும் மின் திரவத்தில் கலந்து நீராக மாறுகிறது.

அணு, அணுக்கரு இயல்பியல்
Atomic and Nuclear Physics

458 அணுகுண்டு (Atomic bomb)

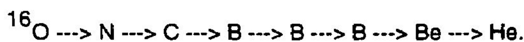
அணுக்கருப் பிளவு (Nuclear fission), சங்கிலித்தொடர்வினை (chain reaction) என்ற இரு தத்துவங்களின் அடிப்படையில் அணுகுண்டு தயாரிக்கப்படுகிறது. ^{235}U, ^{239}Pu போன்ற பிளவுபடக்கூடிய பொருட்களில் நியூட்ரானால் தொடங்கப்படும் சங்கிலித் தொடர்வினை கட்டுக்கடங்காமல் விரைந்து பரவி வெடிக்கிறது. இதைப் பயன்படுத்தும் கருவியை அணுகுண்டு என்று கூறுகிறோம். அணுகுண்டு வெடிப்பதால் வெளிப்படும் ஆற்றல், ஒலி, ஒளி, வெப்பம், அழுத்தம், அதிர்ச்சிஅலை, கதிர்வீச்சு, கதிரியக்கம் ஆகியவை பெரும் அழிவை விளைவிக்கக் கூடியன. இதன் ஆற்றல் 20 கிலோ டன் முதல் 100 மெகா டன் வரை வேறுபடும். (1 கிலோ டன் ஆற்றல் = 4.18×10^{19} எர்க்). அணுகுண்டினால் ஏற்படும் கதிர்வீச்சு சுற்றுப்புறத்தையும் தாக்கி, அதன் தீய விளைவுகள் பல ஆண்டுகளுக்கு நீடிக்கும். உயிரினங்கள் யாவும் இதனால் பாதிக்கப்படும்.

அணுகுண்டு அமெரிக்காவில், நியூ மெக்ஸிகா நாட்டிலுள்ள லாஸ் ஆலமஸ் தேசிய ஆய்வுக் கூடத்தில் (Los Alamos National Laboratory) முதன் முதலில் தயாரிக்கப்பட்டு, அதன் அருகில் இருக்கும் பாலைவனத்தில் 1945–ஆம் ஆண்டு ஜூலை 16–ஆம் தேதி வெடிக்கப்பட்டது. [20 கிலோ டன் ஆற்றலுள்ள இரு அணுகுண்டுகளை அமெரிக்கா தயாரித்து அவைகளை ஹிரோஷிமா, நாகசாகி என்ற இரு ஜப்பானிய நகரங்களில், அதே ஆண்டு ஆகஸ்ட் 6, 9 தேதிகளில் வீசியது. இதனால், பாதிக்கப்பட்ட நிலையில், பீதி அடைந்த ஜப்பான் உடனடியாகச் சரண் அடைந்தது.

அணுக்கருப் பிணைவு (Nuclear fusion) முறையில் அதிக ஆற்றல் வாய்ந்த குண்டு தயாரிக்கலாம். இதை ஹைட்ரஜன் குண்டு (Hydrogen bomb) என்பர். இதில் இரு ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் ஒன்றாகச் சேர்ந்து ஹீலியம் அணுவாக மாறுகிறது. இந்த அணுக்கருப் பிணைப்புக்கு மிக அதிகஅளவு வெப்பமும், அழுத்தமும் தேவை. தேவைப்படும் வெப்ப–அழுத்தத்தை, அணுக்கருப் பிளவை முறையால் பெறலாம். ஹைட்ரஜன் குண்டில் அணுக்கருப் பிளவும், அணுக்கருப் பிணைவும் இணைந்து செயல்படுகின்றன.

459 அனாமலான்கள் (Anomalons)

சார்பியல் ஆற்றலுடன் எறியப்பட்ட அணுக்கரு ஒன்று ஓய்விலிருக்கும் குறிப்பிட்ட அணுக்கருவொன்றின் மேல் மோதும் போது உண்டாகும் அணுக்கருத் துண்டுகளில் சில, இயல்புக்கு முரண்பாடாக, குறுகிய சராசரி மோதலிடைத் தூரம் (mean free path) கொண்டுள்ளன. இவைகளை அனாமலான்கள் என்று அழைக்கிறோம். இவை முதன்முதலில் காஸ்மிக் கதிர் சோதனைகள் மூலம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. பிறகு ஃப்ரீலேண்டர் (Friedlander)உம் அவருடைய துணை ஆய்வாளர்களும் இவ்வியல் நிகழ்ச்சியை லாரன்ட்ஸ் பெர்க்லி ஆய்வுக் கூடத்திலும், கனடா நாட்டின் தேசிய ஆய்வுக் கழகத்திலும், ஆற்றல்மிக்க துகள் முடுக்கிகளைக் கொண்டு 1980–ஆம் ஆண்டில் மீண்டும் கண்டனர். இதற்கான சோதனையில் லாரன்ட்ஸ் பெர்க்லி ஆய்வுக் கூடத்தில் 1.88 GeV / nucleon ஆற்றலுடைய ^{56}Fe என்ற அணுக்கருவையும், கனடாவின் தேசிய ஆய்வுக்கழகத்தில் 2.1GeV/nucleon ஆற்றலுடைய ^{16}O என்ற அணுக்கருவையும் எறிபொருள்களாகப் பயன்படுத்தினர். அனாமலான்களைக் காண உபயோகப் படுத்தப்பட்ட கருவி கூழ்ப் படல அடுக்கு (emulsion stack) ^{56}Fe அணுக்கருவால் தொடங்கப்பட்ட நிகழ்ச்சியொன்றில், அடுத்தடுத்து ஏற்பட்ட ஒவ்வொரு மோதலிலும், முறையே மின்னூட்டம் Z = 24, 20, 11 உள்ள அனாமலான்கள் தோன்றின. நான்காவது மோதலில் மின்னூட்டம் Z > 3 உள்ள அணுக்கரு ஒன்றும் இல்லாததால், இந்நிகழ்ச்சி முடிவுற்றது. இந்தத் தொடர்வினையில் நீண்ட சங்கிலித் தொடர் நிகழ்ச்சியாக ^{16}O அணுக்கருவால் தொடங்கப்பட்ட கீழ்க்காணும் ஏழு தலைமுறைகளைக் கொண்ட வினை நிகழ்ந்தது.



இயல்பாக அணுக்கருவின் மோதலிடைதூரம் (λ). அதன் மின்னூட்டத்தைப் பொறுத்தது:

$\lambda(^{56}Fe) \approx 7.5$ செ. மீ.
$\lambda(^{4}He) \approx 22$ செ. மீ.

இதற்கு எதிர்மாறாக, அனாமலான்களின் மோதலிடைத்தூரம் அதன் மின்னூட்டத்தைச் சார்ந்திருக்கவில்லை.

λ (அனாமலான்) ≈ 2.5 செ.மீ.

மேலும், அடுத்தடுத்து ஏற்படும் மோதல்களில் வெளிவரும் அணுக்கருத் துண்டுகளும் அனாமலான்களாகவே அமைகின்றன. இதனால் அனாமலான்களுக்கு நினைவுத் திறம் (memory) இருப்பதாக ஊகிக்கலாம்.

சார்பியல் ஆற்றலுடன் எறியப்பட்ட அணுக்கருக்களின் மோதலில் தோன்றும் இந்த அனாமலான்கள் 6 விழுக்காடு தான். இம்மோதலில் வெளிப்படும் மற்றவையாவும் சாதாரணத் தன்மையுடைய அணுக்கருத் துண்டுகள் தாம்.

இந்த அனாமலான்களின் குறுகிய மோதலிடைத் தூரத்துக்குச் சரியான விளக்கம் இன்றும் தரப்படவில்லை. இது ஒரு புதிராகவே உள்ளது.

460 அணு எடை (Atomic weight)

அணு எடை என்பது ஒரு தனிமத்தின் சராசரி அணு நிறையைக் குறிப்பது. இயற்கையில் ஒரு தனிமம் பல ஐசோடோப்புகளைக் குறிப்பிட்ட விழுக்காட்டில் கொண்டிருப்பதால், அதன் அணு எடையை அடிப்படை ஹைட்ரஜன் தனிமத்தின் அணு எடையால் வகுத்தால் முழு எண் கிடைப்பதில்லை. ஆனால் தனிமத்தின் ஐசோடோப்புகளின் நிறை கிட்டத்தட்ட முழு எண்ணாகக் கிடைக்கும்.

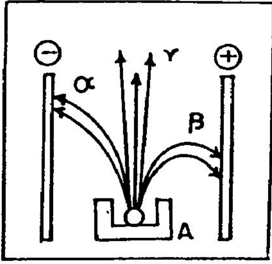
அணு நிறையை அளவிட ஓர் அலகு தேவை. முன்பு 1902–ஆம் ஆண்டில், ஆக்ஸிஜன் அணுவின் நிறையை ஒரு அளவு கோலாகக் கருதி, அதன் நிறையை 16 என்று கொண்டனர். ஆக்ஸிஜன் தனிமம் ^{16}O (99.759%), ^{17}O (0.037%), ^{18}O (0.204%) என்ற மூன்று ஐசோடோப்புகளை அடைப்புக்குறிகளுக்குள் காணப்படும் விழுக்காட்டில் கொண்டிருப்பதாலும், இந்த விழுக்காடு வளிமண்டல நிலைமைக் கேற்பச் சற்று வேறுபடுவதாலும், ^{16}O என்ற ஐசோடோப்பின் நிறையை ஓர் அளவுகோலாகத் தேர்ந்தெடுத்தனர். இப்பொழுது ஆக்ஸிஜன் தனிமத்தைக் காட்டிலும், ^{12}C (98.89%), ^{13}C (1.11%) என்ற இரு ஐசோடோப்புகளைக் கொண்ட கார்பன் தனிமம் அளவுகோலுக்குச் சாலச் சிறந்தது என்று கருதி, கார்பன் ஐசோடோப் ^{12}C அணு நிறையை 12 என்று கொண்ட அளவு கோல் ஒட்டாவாவில் 1960–ஆம் ஆண்டு நடந்த அகில உலக இயற்பியல் கூடடத்தில் ஏற்கப்பட்டு இப்பொழுது எல்லோராலும் பின்பற்றப்படுகிறது. இந்த அணு நிறை அலகை m_u என்று குறிப்பிட்டால், அதன் மதிப்பு $m_u = \frac{1}{12} M(^{12}C) = 1.66 \times 10^{-27}$ கிலோ கிராம் ஆகும்.

அணு நிறையை அளவிட வேதியல் முறையைவிட இயற்பியல் முறை மேலானது. நிறைமாலை மானியை (Mass spectrometer) பயன்படுத்திப் பல ஐசோடோப்புகளின் அணு நிறையைக் கண்டறிந்துள்ளனர். அவற்றில் சிலவற்றை இங்குக் காணலாம்:

சில ஐசோடோப்புகளின் அணுநிறைகள்

அணு	அணு நிறை (m_u அலகில்)	அணு	அணு நிறை (m_u அலகில்)
^{1}H	1.007825	^{16}O	15.994915
^{4}He	4.002603	^{35}Cl	34.968851
^{12}C	12.000000	^{120}Sn	119.902198

461 அணுக் கதிர்வீச்சு (Nuclear radiation)



1896–ஆம் ஆண்டு ஹென்றி பெக்குயூரெல் (Henry Becquerl) என்ற பிரெஞ்சு நாட்டு அறிவியலாளர் இருட்டறையில் வைக்கப்பட்ட யுரேனியம் உப்பிலிருந்து ஒளிப்படத் தட்டைப் பாதிக்கும் பண்புள்ள கதிர்கள் வெளி வருவதைக் கண்டுபிடித்தார். மேரி கியூரி அவரது கணவர் பியர் கியூரி ஆகியோர் யுரேனியம் கனிப்பொருளிலிருந்து (pitch blende) பிரித்தெடுத்த ரேடியம், பொலோனியம் ஆகிய தனிமங்களிலிருந்தும் அவ்வகைக் கதிர்கள் வெளியாவதைக் கண்டு அதைக் 'கதிரியக்கம்' (radio activity) என அழைத்தனர். கதிரியக்கம், ஆல்பா (α), மற்றும் பீட்டா (β), ஆகிய இருவகைக் கதிர்கள் கொண்டது என ரூதர்போர்டும், காமா (γ) என்ற மூன்றாம் வகைக் கதிர்களையும் .பெற்றுள்ளது என வில்லார்டும் கண்டறிந்தனர். இதனை ஓர் எளிய சோதனைமூலம் அறியலாம். மின்புலத்தில் A என்ற ஈயப்பாலத்தில் கதிரியக்கப் பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ளது (படம்). மின்னூட்டமுடைய α , β துகள் பாதைகளில் விலக்கம் ஏற்படுகிறது. மின்னூட்டமற்ற γ கதிர் விலகாமல் நேராகச் செல்கிறது. ஆல்பா துகள் இருமுறை அயனியாக்கப்பட்ட நேர்மின்னூட்டமுடைய ஹீலியம் அய்னி (ஹிலியம் அணுக்கரு) எனவும், β துகள் எதிர் மின்னூட்டமுடைய எலக்ட்ரான்கள் எனவும், γ கதிர்கள் X-கதிர்களைக் காட்டிலும் அதிக அதிர்வெண் கொண்ட மின்காந்த அலைகள் எனவும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. γகதிர்களின் ஆற்றல் X-கதிர் ஆற்றலில் தொடங்கி பல MeV வரை பரவியுள்ளது. கதிர்வீச்சு இயற்கைக் கதிர்வீச்சு, செயற்கைக் கதிர்வீச்சு என இரு வகைப்படும்.

462 அணு மாதிரிகள் (Atomic models)

ஒரு தனிமத்தை மீண்டும் மீண்டும் பகுத்தால் இறுதியில் பெறக்கூடிய நுண்ணிய துகளை அணு என்று கூறுகிறோம். ஒரு காலத்தில் இந்த அணுவை மீண்டும் பகுக்க இயலாது என்று கருதினர். ஆனால் இன்றோ இவ்வணுவின் கூட்டமைப்பை பல ஆய்வுகள் மூலம் நன்கு கண்டுள்ளனர். ருதெர்போர்ட் (Rutherford) சோதனை மூலம் அணு என்பது நேர் மின்னூட்டமுள்ள அணுக்கரு (Nucleus) ஒன்றையும், எதிர் மின்னூட்டமுள்ள எலெக்ட்ரான்களையும் கொண்டது என்று விளக்கினார். ஓர் அணுவின் அமைப்பைச் சூரிய மண்டலத்திற்கு ஒப்பிடலாம். மையத்திலிருக்கும் நேர் மின்னூட்டமுள்ள எடைமிக்க அணுக்கருவை எதிர் மின்னூட்டமுள்ள எலக்ட்ரான்கள் வட்டப்பாதையில் சுற்றி வருகின்றன என்று நீல்ஸ்போர் (Niels Bohr) கூறினார். இந்த அணு மாதிரி (Bohr Atom Model) ஹைட்ரஜனின் நிறமாலையை விளக்குவதில் மிகுந்த வெற்றிகண்டது. அதை சோமர்ஃபீல்ட் (Sommerfeld) செம்மைப்படுத்தி எலெக்ட்ரான் இயக்கத்திற்கு நீள்வட்டப் பாதையையும், சார்பியல் கொள்கையையும் சேர்த்து சார்பியல் அணுமாதிரி (Sommerfeld Relativistic Atom Model) ஒன்றைத் தந்தார். இந்த அணுமாதிரிகள் ஒரே ஓர் எலெக்ட்ரானைக்

கொண்ட அணுவின் ஆற்றலையும், நிறமாலையையும் கணக்கிடுவதில் மிகுந்த வெற்றி கண்டன.

பல எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட அணுக்களுக்கு, எல்லா எலெக்ட்ரான்களின் கூட்டு விளைவையும் கணக்கிட திசையி அணுமாதிரி (Vector Atom Model) உருவாகியது. இந்த அணுமாதிரிகள் குவாண்டம் கொள்கை அடிப்படையில் உருவாகின. குவாண்டம் இயக்கவியல் அடிப்படையில் அணுவின் அமைப்பை மேம்படக் கணித்து, அதன் நிறமாலையையும், நுண்ணமைப்பையும் (fine structure) நன்கு விளக்க முடிகிறது.

463 அணுக்கரு உலை (Nuclear reactor)

கட்டுப்படுத்தப்பட்ட அணுக்கருத் தொடர்வினைகளைச் செறிவூட்டப்பட்ட U^{235}, U^{238} போன்ற எரிபொருள்களில் ஏற்படுத்தி நியூட்ரான் பாயம், ரேடியோ ஐசோடோப்புகள், வெப்ப ஆற்றல் ஆகியவற்றை அணு உலை உற்பத்தி செய்கிறது. உலை உள்ளகத்தில் (core) பிளவு எரிபொருள் தண்டுகள், கனநீர்த்தணிப்பான், காட்மியம் கட்டுப்பாட்டுத் தண்டுகள், உயர் அழுத்தம் கொண்ட குளிர்ப்பான் (coolant) ஆகியவை இடம்பெற்றுள்ளன. கனநீர் சிறந்த தணிப்பானாகவும், குளிர்ப்பானாகவும் பயன்படுகிறது. உள்ளகத்திலிருந்து தப்பி வெளிவரும் நியூட்ரான்களை, கிராபைட் எதிரொலிப்பான்கள் திருப்பி உட்செலுத்துகின்றன. உலையிலிருந்து வீசும் தீமை விளைவிக்கும் கதிரியக்கம், நியூட்ரான் பாயம் ஆகியவைகளைத் தடுக்க, காரியம், வார்ப்பிரும்பு, மற்றும் கான்கிரீட் அரண்கள், உள்ளகத்தைச் சுற்றிலும் அமைக்கப்பட்டுள்ளன.

உள்ளகத்தில் கட்டுப்பாட்டுத் தண்டின் இருக்கை நிலைகளை மாற்றி, அவை உட்கவரும் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைக் கூட்டி அல்லது குறைத்து வெளிவரும் ஆற்றலைக கட்டுப்படுத்தலாம். தொடர்ந்து செயற்பட்டு உலையில் பிளவுப் பொருள் அளவு குறையும் பொழுது, கட்டுப்பாட்டுத் தண்டுகளை வெளியேற்றி, நியூட்ரான் உட்கவர்ச்சியைக் குறைத்து ஆற்றல் அளவு நிலைப்படுத்தப்படுகிறது. அதன் பின்னரும் உலை கீழ்மாறுநிலையை (subcritical) அடையுமானால் பிளவுப் பொருளின் செறிவைக் கூட்டி ஆற்றல் அளவை நிலைநிறுத்த வேண்டும். பிளவு படுத்தும் நியூட்ரான்களின் வேக அளவுப்படி உலைகள், 1) வெப்பவியல் அணு உலை, 2) நடுத்தர வெப்பவியல் அணு உலை, 3) விரைவு அணு உலை என வகைபடுத்தப்படுகின்றன.

உலையின் வெப்ப ஆற்றலால் பெறப்படும் ஆவி அல்லது வாயு டர்பைன்களை இயக்கி மின்னாற்றலை உற்பத்தி செய்கிறது. ஆராய்ச்சிக்குத் தேவையான கதிரியக்க மூலங்கள், காமா வீச்சு மூலங்கள், மருத்துவத்தில் பயன்படும் கதிரியக்க சோடியம், கோபால்ட் ஆகியவை அணு உலைகளால் பெறப்படுகின்றன. ${}_{92}U^{233}$, ${}_{92}U^{235}$ போன்ற பிளவுறு தனிமங்களை வளர்க்க ஈனுலை (breeder reactor) பயன்படுகிறது.

464 அணுக்கருக் காந்த ஒத்திசைவு (Nuclear Magnetic Resonance)

புறக்காந்தப்புலத் தாக்கத்தால் அணுக்கருவின் சுழற்சி மட்டம் J (spin state) குவாண்டங்களாக்கப்படுகிறது. அதாவது ஒரு J மட்டம், 2J+1 துணை மட்டங்களாகப் பிரிந்து ஒவ்வொன்றும் தனித்தனிக் காந்தக் குவாண்டம் எண்ணால் (m_j) குறிக்கப்படும். இதனை சீமன் (Zeeman) பிரிப்பு என்பர். தெரிந்தெடுக்கப்பட்ட (selective) மின்காந்தக் குவாண்டங்களை அணுக் கருக்காந்தம் உட்கவர்ந்தாலோ அல்லது உமிழ்ந்தாலோ அது ஒரு சீமன் மட்டத்திலிருந்து மற்றொன்றுக்கு மாற்றமடைகிறது. அப்பொழுது தோன்றும் ஆற்றலின் அதிர்வு எண் புறக்காந்தப் புல அதிர்வு எண்ணுக்குச் சமமாகும். இம்மாற்றத்தை அணுக்கரு பரா காந்த ஒத்திசைவு (nuclear para magnetic resonance) என்கிறோம். காந்தக் குவாண்டம் எண் தேர்வு விதி $\Delta m_j = \pm 1$. இம்மாற்றத்தின் ஒத்ததிர்வு எண் (resonance frequency) $\upsilon_{npr} = ((g\mu_{nuc}H)/h))$ என்று கணக்கிடப்பட்டது. g -அணுக்கருவின் பிரிப்பு க் கெழு,

μ_{nuc} அணுக்கரு மாக்னட்டான், H-புறக்காந்தப் புலச் செறிவு, h-பிளாங் மாறிலி. கொடுக்கப்பட்ட H மதிப்புக்கு எலக்ட்ரான் பரா காந்த ஒத்திசைவு அதிர்வெண் அணுக்கரு பரா காந்த அதிர்வெண்களைக் காட்டிலும் $(mu_B/\mu_{nuc}) = (m_{nuc}/m_{el}) \sim 10^4$ மடங்கு அதிகமாகும். 10^3 அயர்ஸ்டெட் செறிவுள்ள புறகாந்தப்புலத் தாக்கத்தால் அணுக்கரு பரா காந்தம் 10^5 - 10^6 Hz அதிர்வெண் பெறுகிறது.

நான்கு மின்முனைத் திருப்புதிறன் (electric quadrapole moment) உடைய அணுக்கருப்பொருட்களில், மூலக்கூறு அல்லது படிக மின்புல இடையீட்டுத் தாக்கத்தால் அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டங்கள் ஸ்டார்க் மட்டத்திலிருந்து மற்றொன்றுக்கு அணுக்கரு மாறும்போது உட்கவரும் அல்லது உமிழும் மின்காந்தக் குவாண்டங்கள் அணுக்கரு நான்முனை ஒத்திசைவை (nuclear quadrapole resonance) ஏற்படுத்துகிறது. இவ்வாற்றல் வரிகளின் அமைவு நிலை, ஒளிச்செறிவு இவைகளிலிருந்து மூலக்கூறு அமைப்பு அல்லது படி அணிக்கோவை அமைப்பைப் பெறமுடியும்.

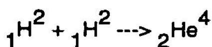
465. அணுக்கருத் தற்சுழற்சி (Nuclear spin)

அணுக்கருக் கட்டமைப்புக்குள் அமைந்துள்ள துகள்கள் வரையறுக்கப்பட்ட நுண்ணிய வட்டப் பாதைகளில் தொடர்ந்து சுற்றி வருகின்றன என்பதை α–கதிர் மற்றும் γ–கதிர் நிறமாலை ஆய்வுகள் காட்டுகின்றன. இச்சுற்றுப்பாதை இயக்கம் அணுக்கருத் துகள்களுக்குக் கோண உந்தத்தை (angular momentum) தருகின்றன. மின்னூட்டம் உள்ள துகள்கள் காந்தத் திருப்புதிறனைப் பெறும். இச்சுற்றுப்பாதை இயக்கத்தோடு குறிப்பிடத்தக்க பரிமாணமுடைய அணுக்கருத் துகள்கள் தற்சுழற்சி இயக்கத்தைக் கொண்டிருக்கும். அணுக்கரு மொத்தமும் உள்ளார்ந்த கோண உந்தத்தைப் பெற்றிருக்கும். இக்கோண உந்தம் கருவில் அமைந்துள்ள துகள்களின் சுற்றுப்பாதை, கோண உந்தம், தற்சுழற்சிக் கோண உந்தம் ஆகியவற்றின் தொகுபயனாக அமையும்.

மிகச்சிறு மதிப்புடைய தற்சுழற்சியைக் காண நிறமாலை வரியின் நுண்வரி எண்ணிக்கை உதவுகிறது. சீமன் (Zeeman) விளைவில் காணப் பெறும் நுண்வரிகளின் எண்ணிக்கை தற்சுழற்சி மதிப்பைக் காணப் பயன்படுகிறது. ஐசோடோப்புகளுக்கிடையே மாறுபடும் பண்புகளில் அணுக்கருத் தற்சுழற்சியும் ஒன்றாகும். ஒற்றைப்படை நிறையெண் கொண்ட எல்லா ஐசோடோப்புகளும் அரையெண் மதிப்புடைய தற்சுழற்சியையும், இரட்டைப்படை நிறையெண் உள்ள ஐசோடோப்புகள் முழு எண் தற்சுழற்சியையும் பெற்றிருக்கின்றன. அணுக்கரு நிறை நான்கின் மடங்காக உள்ள, அதாவது, தற்சுழற்சி சுழியாயுள்ள ஆல்பா துகள்களால் ஆக்கப்பட்ட அணுக்கருக்கள் சுழி தற்சுழற்சி மதிப்பைப் பெறுகின்றன.

466 அணுக்கருப் பிணைவு (Nuclear fusion)

இரண்டு அணுக்கருக்கள் சேர்ந்து ஒரே கருவாகி ஆற்றலை வெளிப்படுத்தும் வினை 'அணுக்கருப் பிணைவு' ஆகும். சேர்க்கை வினைகள் உயர்வெப்ப நிலையில் (10^9 °C) நிகழ்வதால் அவை 'வெப்ப அணுக்கரு வினை' என்றும் அழைக்கப்படும். சேர்க்கைக் கருவின் நிறை, பெற்றெடுக்கும் கருக்களின் நிறைகளின் கூட்டுத் தொகையை விடக் குறைவு. இந்நிறைக் குறைபாடு ஆற்றலாக வெளிப்படுகிறது. α–துகள் சேர்க்கை வினையில்



$$_1H^2 + {_1H^2} \longrightarrow {_2He^4}$$

டியூட்ரான்களுக்கு இடையே நிலவும் விலக்கு நிலைமின் விசையை எதிர்த்து 10^{-13} செ.மீ. தூரத்திற்குள் நெருங்கிப் பிணைவதற்கு அக்கருக்களுக்கு அதிக வெப்ப ஆற்றல் ஊட்டப்படவேண்டும்.

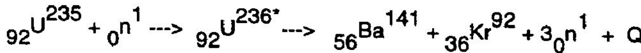
சேர்க்கையின் அடிப்படை வினையாக புரோட்டான் வினைத்தொடர் கருதப்படுகிறது. இத்தொடரில் ஆறு புரோட்டான்கள் பிணைந்து ஒரு α–துகள், இரு

புரோட்டான்கள், 24.7MeV ஆற்றல் ஆகியவற்றை வெளிப்படுத்துகின்றன. 1939–ஆம் ஆண்டு பெத்தே (Bethe) கார்பன் சுற்றின் அடிப்படையில் சேர்க்கைவினையை விளக்கினார். $2x10^6$K உள் வெப்பநிலையுடைய சூரியன், விண்மீன்கள் ஆகியவற்றில் புரோட்டான் சுற்று சேர்க்கைவினைகளும், அதைவிட அதிக வெப்பநிலையுடைய விண்மீன்களில் கார்பன் சுற்று வினைகளும் நிகழ்கின்றன.

சேர்க்கை வினைக்குத் தேவையான 10^9°C வெப்ப நிலையைப் புவியில் பாதுகாப்பாக உருவாக்குவது முடியாது எனினும், உலகெங்கும் ஆய்வுக் கூடங்களில் டியூட்ரியம்–டிரைடம் கலப்பு வாயுவை உயர்வெப்ப நிலையில் அயனியாக்கி (பிளாஸ்மா) ஆற்றல் வாய்ந்த காந்தப் புலத்தால் கவ்வி நெருக்கி கருச் சேர்க்கை நிகழ்த்தும் முயற்சி தொடர்ந்து நடை பெறுகிறது. இதில் வெற்றிகிட்டுமானால் வருங்கால உலகின் ஆற்றல் நெருக்கடி குறையும்.

467 அணுக்கருப் பிளவு (Nuclear fission)

1939-ஆம் ஆண்டு ஹான், ஸ்ட்ராஸ்மன் (Hahn, Strassman) என்ற ஜெர்மன் நாட்டு அறிவியலாளர்கள், நியூட்ரான்களால் தாக்கப்பட்ட யுரேனியம் கருப் பிளவுற்று, பேரியம், கிரிப்டான் ஆகிய இரு துண்டங்களாக்கப்படும் அணுக்கருப் பிளவு வினையைச் செய்து காட்டினர். இவ்வினை



$$_{92}U^{235} + _0n^1 \dashrightarrow _{92}U^{236*} \dashrightarrow _{56}Ba^{141} + _{36}Kr^{92} + 3_0n^1 + Q$$

என்ற சமன்பாட்டால் அவ்வினை குறிக்கப்படுகிறது. இதில் இரு துண்டங்களும் எதிர்த் திசைகளில் நகர்ந்து சுமார் 210 MeV ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது. நீல்ஸ் போர் (Niels Bohr), வீலர் (Whealer) ஆகியோர் திரவத்துளி மாதிரி (liquid drop model) அணுக்கரு அமைப்பின் அடிப்படையில் கருப்பிளவை ஏற்படுவதற்கான வாய்ப்பைக் கணக்கிட்டனர். திரவத்துளியின் மேற் பரப்பில் செயற்படும் பரப்பு இழு விசையை ஒத்த குற்றெல்லை அணுக்கரு ஈர்ப்பு விசை E_s, புரோட்டான் மின்னூட்டத்தால் ஏற்படும் கூலும் எதிர்ப்பு விசை E_c, ஆகிய இரு எதிர்விசைகளின் செயற்பாட்டால் கருவின் மேற்பரப்பில் அலைவுகள் (surface oscillations) தோன்றி உருக்குலைவு (deformation) ஏற்படுகிறது. உருக்குலைவை ஏற்படுத்தும் ஆற்றல்

$$\Delta E \simeq \frac{1}{5}\alpha_2^2 (2E_s - E_c)$$

எனக் கணக்கிடப்பட்டது. இங்கு α_2 ஒரு மாறிலி. ΔE நேர்குறி அளவானால் ($E_c < 2E_s$), அலைவுகள் அடங்கி கரு நிலைத்தன்மை பெறும். ΔE எதிர்க் குறி அளவானால் ($E_c > 2E_s$), அலைவுகள் அதிகரித்து கரு உருக்குலையும். ΔE = 0 எனக் கொண்டு, பிளவின் வரம்பு மதிப்பு $(Z^2/A) \simeq 50$ எனப் பெறப்பட்டது. பிளவு பட வேண்டிய கருவின் Z^2/A மதிப்பு , வரம்பு மதிப்பைக் காட்டிலும் அதிகமானால், அக்கரு தன்னிச்சையாகப் பிளவுறும் (spontaneous fission).

468 அணுக்கரு மாதிரிகள் (Nuclear models)

அணுக்கருவின் உள்ளமைப்பு எப்படி இருக்கும் என்பதை உணரமுடியாத நிலையில், அதன் பண்புகளான நிலைப்பாடு, பிணைப்பாற்றல், தற்சுழற்சி, காந்தப்புலத் திருப்புதிறன், குறுநெடுக்க ஈர்ப்பு விசை ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைத் தோராயமாகக் கணக்கிட்டுப் பெற, சில முன்மாதிரி வடிவமைப்புக்கள் ஊகிக்கப்பட்டன. பின்னர் துகள் முடுக்கும் பொறிகளின் உதவியால் அணுக்கரு வினைச் சோதனைகள் செய்யப்பட்டு இவற்றின் சரியான மதிப்புகள் அளவிடப்பட்டன. சோதனையில் கிடைத்த சரியான அளவுகளை, ஊகிக்கப்பட்ட வடிவமைப்புகள் ஈனுதற்கு உகந்த மாறுதல்களைப் புகுத்தி

உண்மை வடிவமைப்பை ஒத்த வடிவமைப்புகள் பெறப்பட்டன. இங்கு இரு முக்கிய மாதிரி வடிவமைப்புகளைக் குறிப்பிடுவோம்.

I. திரவத்துளி மாதிரி (liquid drop model): திரவ மூலக்கூறுகள், அணுக் கருத்துகள்கள் ஆகியவற்றுக்கிடையே உள்ள பிணைப்பாற்றல், செயற்படும் ஈர்ப்பு விசையின் குற்றெல்லைப் பண்பு, பரப்பு இழுவிசை, நிலை ஆற்றல் அரண் (potential barrier) ஆகியவற்றை ஒப்பிட்டு, அணுக்கரு ஒரு திரவத்துளி மாதிரியான அமைப்பைப் பெற்றிருக்கலாம் என நீல்ஸ் போர் (Niels Bohr) சுட்டிக்காட்டி அம்மாதிரியின் அடிப்படையில் கூட்டு அணுக்கருக் கொள்கையை வகுத்தார். இக்கொள்கையின் உதவியால் கருவின் நிறை, கருப்பிளவு நிகழ்திறன், பிணைப்பாற்றல் ஆகியவற்றின் சரியான அளவுகள் பெறப்பட்டன. ஆனால் மாய எண் (magic number) கருக்களின் மிகுந்த நிலைப்பாடு, சுழற்சிக் கோண உந்தம் ஆகியவை இம்மாதிரியால் விளக்கமுடியவில்லை.

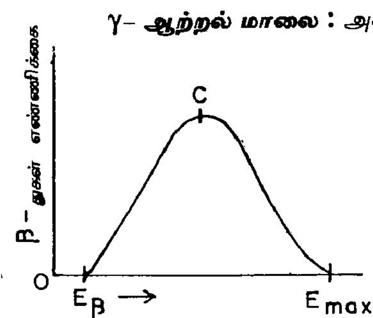
II. கூடு மாதிரி (shell model): இதில் அணுவின் திசையி மாதிரி அமைப்பைப்போல, அணுக் கருத்துகள்கள் ஒரு மைய விசைபுலத்தால் பிணைப்புற்று தனித்தனி ஆற்றல் மட்டக் கூடுகளில் (shell) இயங்குவதாகக் கொள்ளப்பட்டது. மாய எண்கள் (magic numbers), கோண உந்தம் ஆகியவை இதில் சரியாகப் பெறப்பட்டன.

பின்னர் இவ்விரண்டையும் இணைத்துக் கூட்டுப்படிவ மாதிரி (collective model) உருவாக்கப்பட்டது.

469 அணுக்கரு மாலைகள் (Nuclear spectra)

அணுக்கருவிலிருந்து வெளிவீசப்படும் α, β துகள்களும் மற்றும் γ கதிர்வீச்சும் பெற்றிருக்கும் ஆற்றல் அளவுகளின் தொகுப்பு அணுக்கரு மாலை எனப்படும்.

α–ஆற்றல் மாலை : வெவ்வேறு அணுக்கருவிலிருந்து வெளி வரும் α–துகள்கள் சம ஆற்றல் பெற்ற ஓர் குழுமமாக இராமல் தனித்தனி (discrete) ஆற்றல் அளவுள்ள பல குழுமங்களாக உள்ளது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இவை α–மாலையின் நுண்வரி அமைப்புகள் (fine structure) என அழைக்கப்படுகின்றன. இவ்வகை வரியமைப்பு மாலை தோன்றக் காரணம் அணுக்கருவில் தனித்தனி ஆற்றல் அளவு கொண்ட மட்டங்கள் அமைந்திருப்பதே என ஜியார்ஜ் காமோவ் (George Gamow) தெரிவித்தார்.



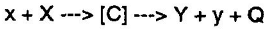
γ– ஆற்றல் மாலை : அணுக்கருவின் தனித்தனி அளவுள்ள ஆற்றல் மட்டங்களில் ஏற்படும் கிளர்ச்சிநிலை (excited state), நிலையான நிலைக்கு மாறும்போது, ஆற்றல் γ கவளமாக வெளிப்பட்டு ஒரு வரி மாலையை (line spectra) தோற்றுவிக்கிறது. அவ்விரு மட்டங்களுக்கு இடையேயுள்ள மிகுதி ஆற்றல் γ கவள ஆற்றலுக்குச் சமமாகும்.

β–ஆற்றல் மாலை : α, γ–மாலைகள் வரிமாலைகள். மாறாக, β–மாலை ஒரு தொடர் மாலையாகும் (படம்). β–துகள்களின் எண்ணிக்கை உச்ச வரம்பெல்லை ஆற்றலில் (E_{max}) சுழியாகிறது. வரம்பெல்லை பெற்ற β–தொடர் மாலை அணுக்கரு இயற்பியலில் கொள்கை முரண்பாடுகளைத் தோற்றுவித்தது; எனினும் பௌலியின் நியூட்ரினோ கருதுகோளின்படி β–துகளோடு ஆற்றலைப் பகிர்ந்து கொள்ளும் நியூட்ரினோ என்ற மற்றொரு துகளும் வீசப்படுவதாகக் கொண்டு முரண்பாடுகள் நீக்கப்பட்டன.

470 அணுக்கரு வினை (Nuclear reaction)

இயக்க ஆற்றல் அதிகம் கொண்ட ஏவுதுகள் ஓர் இலக்கு அணுக்கருவைத் தாக்கி, சிதைவுறுத்தி அதன் கட்டமைப்பை (structure) மாற்றி அமைக்கும் வினை அணுக்கரு வினை எனப்படும். திரவத்துளி அணுக்கரு மாதிரியின் அடிப்படையில் நீல்ஸ் போர்(Niels Bohr) கூட்டு அணுக்கருக் கொள்கையை வகுத்து இவ்வினைகளுக்கு விளக்கமளித்தார். அதன்படி ஏவுதுகள் இலக்கு அணுக்கருவில் வசப்பட்டு (capture) தான் பெற்றிருந்த இயக்க ஆற்றலை மற்ற துகள்களுக்குப் பகிர்ந்தளித்து கிளர்ச்சி நிலையூட்டுகிறது. பின்னர் மிகக் குறைந்த ஆற்றல் நிலைக்கு (ground state) கூட்டு அணுக்கரு தள்ளப்படும்போது, அதிலிருந்து பொருண்மை அல்லது ஆற்றல் துகள்கள் வெளிவீசப்பட்டு அணுக்கரு மாற்றம் (transmutation) அல்லது அணுக்கருச் சிதைவு (disintegration) ஏற்படுகிறது.

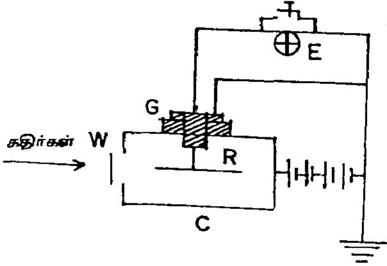
அணுக்கரு வினையைப் பின்வரும் சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம்.



ஏவுதுகள் x, இலக்கு அணுக்கரு X-உடன் மோதி ஒரு கூட்டு அணுக்கருவை [C] உருவாக்கி, பின்பு சிதைவுற்று, y என்ற துகள் வெளிவீசப்பட்டு, Y என்ற சேய்க் கருவாகத் தனிமமாற்றம் அடைகிறது. அணுக்கருவினையின் ஆற்றல் சரியீடு (balance) Q மதிப்பு எனப்படும். Q மதிப்பு (+) ஆக இருக்கும் வினைகள் ஆற்றல் வெளியிடு விளைவு வினைகள் (exoergic reactions) எனவும், (-)ஆக இருக்கும் வினைகள் ஆற்றல் உட்கவர் விளைவு வினைகள் (endoergic reactions) எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன.

471 அயனியாக்கு கலம் (Ionisation chamber)

மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்களும், மின்னூட்டமற்ற γ மற்றும் X-கதிர்களும் வாயுக்களின் வழியே செல்லும்போது அயனியாக்கத்தை ஏற்படுத்துகின்றன. இந்தப் பண்பை அடிப்படையாகக் கொண்டு செயற்படும் அயனிக்கலம் அயனியாக்கக் கதிர்களைக் கண்டுணர ஒரு கருவியாகப் பயன்படுகின்றது. இக்கலத்தில், C என்பது ஒரு உலோக உருளையாகும். துகளும் கதிரும் நுழைய W என்ற சாளரம் பொருத்தப் பட்டுள்ளது. கலத்தின் மையத்தில் உள்ள R என்ற உலோகக் கம்பி E எனும் கால் வட்டு மின் மானியுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது.



C-க்கும் R-க்கும இடையே மின்கலத்தின் மூலமாக மின்னழுத்த வேறுபாடு கொடுக்கப் படுகின்றது. G என்ற பாதுகாப்பு வளையம் R-க்கும் C-க்குமிடையே ஏற்படக் கூடிய கசிவைத் தடுக்கின்றது. கலத்தில் நிரப்பப்பட்டுள்ள வாயுவின் வழியே கதிர்கள் செல்லும்போது நேர், எதிர் அயனிகள் உருவாகின்றன. நேர் அயனிகள் R-ஐ நோக்கியும், எதிர் அயனிகள் C-ஐ நோக்கியும் செல்கின்றன. அதனால் மின்மானியில் விலக்கம் ஏற்படுகின்றது. இவ்விலக்கத்தின் மூலம் எம்மாதிரியான கதிர்கள் வருகின்றன என்பதை அறியலாம். இந்தக் கலம் காஸ்மிக் கதிர்களின் ஆராய்ச்சியில் பெரிதும் பயன்படுகின்றது.

472 அடிப்படை இடைவினைகள் (Fundamental interactions)

எல்லாப் பருப்பொருட்களிலும் அடிப்படைத் துகள்கள் அடங்கியுள்ளன. அவற்றின் இடையே அடிப்படை விசைகளும் செயற்படுகின்றன. இதற்குக் காரணமாக விளங்கும் இடை வினைகள் அடிப்படை இடைவினைகளாகும். இந்த இடைவினைகளின் வலிமையை அடிப்படையாகக் கொண்டு அவை நான்கு வகைகளாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளன:

1. ***புவியீர்ப்பு இடைவினை*** (Gravitational interaction): எல்லா அடிப்படைத் துகள்களின் இடையிலும் இந்த இடைவினை செயற்படுகிறது என்ற கூற்று நிலவுகிறது. இது தொலை தூரச் செயற்பாடு கொண்டது. m_1, m_2 நிறையுள்ள இரண்டு துகள்களை r தொலைவில் பிரித்து வைத்தால், நியூட்டனின் கூற்றுப்படி புவியீர்ப்பு விசை விதியைக் கீழ்க்கண்டவாறு கூறலாம்.

$$F = G_N (m_1 m_2 / r^2).$$

இதில் G_N என்பது நியூட்டனின் புவியீர்ப்பு மாறிலி. வழக்கமாக, பரிமாணமற்ற மாறிலி $\frac{G_N m_e m_p}{(h/2\pi)C}$ புவியீர்ப்பு இடைவினையின் வலிமையையும் பண்புகளையும் குறிக்கும் (m_e-எலக்ட்ரான் நிறை, m_p-புரோட்டான் நிறை, h-பிளாங்க் மாறிலி, C-ஒளியின் திசைவேகம்).

2. ***மின்காந்த இடைவினை*** (Electromagnetic interaction): ஒரே மின்னூட்டமுள்ள இரண்டு துகள்களின் இடையே ஏற்படும் தொலை தூர விலக்கு விசைக்கும் எதிர் எதிர் மின்னூட்டமுள்ள இரண்டு துகள்களின் இடையேயுள்ள தொலை தூர ஈர்ப்பு விசைக்கும் காரணமாக உள்ள இடைவினை மின்காந்த இடைவினையாகும் பரிமாணமற்ற மாறிலி (மீநுண் வடிவமைப்பு மாறிலி) (Fine structure constant) $\alpha = e^2 / hC = 1/137.03604$ மின்காந்த இடைவினை புவியீர்ப்பு மற்றும் மின்காந்த இடைவினைகளின் தகவு கீழ்க்கண்ட மாறிலியாக அமையும் $G_N m_e m_p / e^2 = 4 \times 10^{-37}$.

3. ***வலுக்குறைவான அணுக்கரு இடைவினை*** (Weak nuclear interaction): இது மூன்றாவது அடிப்படை இடைவினையாகும். அணுக்கருவிலிருந்து பீட்டா துகள் வெளியீட்டிற்கு இந்த இடைவினை காரணமாக உள்ளது. இதனுடைய வலிமை பெர்மி மாறிலி GF ($GF = 1.026 \times 10^{-5} m_p^{-2} h^3 / C$)ஆல் அளக்கப்படுகிறது. இது மின்காந்த இடைவினையைவிட 1000 மடங்கு வலுக் குறைந்ததாகும். இது தொலைவு குறைவான இடைவினை (short-range interaction) கொண்டதாகும். இதனுடைய விசை விதி $(1/r^2)e^{-kr}$ வகையைச் சேர்ந்ததாகும்.

4. ***வலுவுள்ள இடைவினை*** (Strong nuclear interaction): இது புரோட்டான்களுக்கும் நியூட்ரான்களுக்கும் இடையில் செயற்படுகிறது. இது தொலை குறைவான ஆனால் வலுவான இடைவினையாகும். ஏறக்குறைய இதன் தொலைவு அளவு 10^{-13} செ.மீ. இந்த அளவு தொலைவிற்குள் இந்த வலுவுள்ள விசை துகள்களுக்கு இடையில் உள்ள மற்றஎல்லா விசைகளையும் மறைத்து விடுகிறது. அதாவது, மின்காந்த இடைவினையின் வலுவுடன் ($\alpha = 1/137$) ஒப்பிடும் பொழுது இதன் வலிமை ஒன்றாகும்.

நான்கு இடைவினைகளின் பண்புகள்

இடைவினை வகை	வலிமை நிலை	தொலை அளவு	தொடர்பான அடிப்படைத் துகள்கள்
புவியீர்ப்பு இடைவினை	10^{-39}	அதிகம்	கிராவிட்டான்கள்
மின்காந்தம் இடைவினை	10^{-2}	அதிகம்	போட்டான்கள்
வலுவற்ற அணுக்கரு இடைவினை	10^{-5}	10^{-15} செ.மீ. குறைவு	W^+, Z^0, W
வலுவான அணுக்கரு இடைவினை	1	10^{-13} செ.மீ. குறைவு	மெசான்கள்

473 **அடிப்படைத் துகள்கள்** (Elementary particles)

எல்லாப் பருப்பொருட்களுக்கும் அடிப்படை உள் அலகுகள் இவை. இயல்பான ஒரு பருப்பொருள் புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்கள், எலக்ட்ரான்கள் என்ற மூன்று வகையான அடிப்படைத் துகள்களை மட்டுமே கொண்டவை. மின்காந்தக் கதிர் வீச்சில் தோன்றும் போட்டான்களும் அடிப்படைத் துகள்கள் ஆகும். இதுவரை தெரிந்த மற்ற அடிப்படைத் துகள்கள் யாவும் நிலையில்லாதவை. அடிப்படைத் துகள்களை மேலோட்டமாக மூன்று வகைகளாகப் பிரிக்கலாம்.

1. **கிளாசான்கள்** (Classons): புவியீர்ப்புப் புலத்தின் குவாண்டமான கிராவிட்டானும் (graviton) மின்காந்தப் புலத்தின் குவாண்டமான போட்டானும் (photon) இதில் அடங்கும். இவை நிறையற்ற போசான்கள் (massless bosons) ஆகும்.

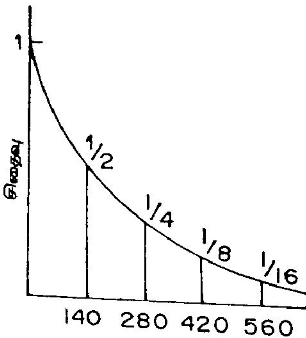
2. **லெப்ட்டான்கள்** (Leptons): பண்டைய புலங்களோடு (classical fields) இடைவினைகள் வைத்திருக்கும் பெர்மியான்கள், வலுவற்ற இடைவினைகள் உள்ள பெர்மியான்கள், இந்த வகையில் அடங்கும். அதாவது, எலக்ட்ரான் (electron: e^- , e^+) மியூ மெசான் (μ-meson: μ^+ , μ^-) டவ் துகள்கள் (tau: τ^+, τ^-), நியூட்ரினோக்கள் (γ, γ^-) ஆகியன.

3. **ஹேட்ரான்கள்** (Hadrons): வலுவான இடைவினைகள் உள்ளவை. பை மெசான்கள் (π - mesons), கேயான்கள் (kaons), η–மெசான்கள் (η - mesons) ஆகியன போசான் ஹேட்ரான்களாகும். பெர்மியான் ஹேட்ரான்கள் என்பவை பேரியான்கள் (baryons) என அழைக்கப்படுகின்றன. நியூக்ளியான்கள் (புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்கள்). மேலும் குறைநிலை (quasi stable) லேம்டாபரான் (λ - hyperon), சிக்மாபரான் (Σ - hyperon), சைபரான் (Xi - hyperon) ஒமேகாபரான் (Ω- hyperon), மின்னூட்டப்பட்ட லேம்டாபரான் (charged λ e - hyperon) ஆகியவை பேரியான் (பேரியான் எண் ஒன்று) வகையைச் சேர்ந்த துகள்களாகும்.

குவார்க கட்டமைப்பு மாதிரியில் நியூக்ளியான்கள் குவார்க் எனப்படும் அடிப்படைத் துகளால் ஆனதாகக் கருதப்படுகிறது.

474 **அரை ஆயுட் காலம்** (Half-life period)

கதிரியக்கப் பொருட்களின் சிதைவுத் தன்மையை அறிந்து கொள்ள உதவும் ஒரு தலையாய அளவீடாக அரை ஆயுட்காலம் பயன்படுகிறது. அனைத்துக் கதிரியக்கப் பொருட்களும முற்றிலுமாகச் சிதைவுற ஈறிலா நேரத்தை எடுத்துக் கொள்கின்றன. அதனால் ஒரு கதிரியக்கப பொருளை மற்றொன்றிலிருந்து வேறுபடுத்திக் காட்டப் பயன்படுவது அரை ஆயுட்காலமேயாகும். ஒரு கதிரியக்கப் பொருள் தன் அளவில் பாதியாக (அரை மதிப்பாக) சிதைவுற எடுத்துக் கொள்ளும் காலஅளவே அரை ஆயுட்காலம் எனப்படுகின்றது. இம்மதிப்பு ஒவ்வொரு பொருளுக்கும் வெவ்வேறாக அமைகின்றது. எடுத்துக்காட்டாக, யுரேனியம், ரேடியம் மற்றும் ரேடானுக்கு, முறையே, அரை ஆயுட்காலத்தின் மதிப்பு, 4.5×10^9 வருடங்கள், 1600 வருடங்கள், 3.8 நாட்கள் ஆகும். படத்தில், பொலோனியம் (Po^{210}) என்ற கதிரியக்கப் பொருள், ஒவ்வொரு அரை ஆயுட்கால மதிப்பிற்கும் எவ்வாறு அரைமதிப்பாக சிதைவுறுகிறது என்று காட்டப்பட்டுள்ளது.



கதிரியக்கப் பொருளின் மற்ற முக்கிய அளவீடுகளான சிதைவு மாறிலி λ, சராசரி ஆயுட் காலம் τ, அரை ஆயுடகாலம் T ஆகியவற்றின் தொடர்புகள் முறையே, $T = 0.6931 / \lambda$, $T = 0.6931\tau$ ஆகும்.

475 அலைப் பெட்டகங்கள் (Wave packets)

இயற்கையின் வெளிப்பாடுகளான 'ஆற்றல் வீச்சு' (radiant energy) மற்றும் 'பொருள்' ஆகியவற்றை ஆராய்ந்த அறிவியலார், முதலில், ஆற்றல் வீச்சானது அலை மற்றும் துகள் என்ற இரட்டைப் பண்பு (dual nature) கொண்டதாகக் காட்டினர். எனவே பொருளும் இதே இரட்டைப் பண்பு கொண்டிருத்தல் வேண்டும் என பிரான்சு நாட்டு இயற்பியல் அறிஞர் லூயி டீ ப்ராக்லி (Louis de Broglie) கருதினார். அதாவது, ஒரு பொருள் (matter) சாதாரண நிலையில் தனித்தனித் துகள்களால் ஆனது எனினும், சில சூழ்நிலைகளில் அது அலையியல்புப் பண்பினைக் காட்டக் கூடும் என்பதே அவரது முடிவு. பொருள், துகள்களால் ஆனது போன்றே ஆற்றலும் ஒருவிதத் துகள்பெட்டகமாக இருக்கக் கூடுமெனக் கருதினர். ஆனால் சில அறிவியல் சோதனைகளின் சிறப்பு விளைவுகளான 'ஒளியின் குறுக்கீட்டு விளைவு' (interference of light), 'விளிம்புவிளைவு' (diffraction) மற்றும் 'தள விளைவு' (polarisation) ஆகியவற்றை விளக்க முடியவில்லை. இவற்றை அலைக் கோட்பாடு (wave theory) கொண்டுதான் விளக்க முடிந்தது. ஆனால் ஒளிமின் விளைவு (photo electric effect) மற்றும் காம்டன் விளைவு (Compton effect) ஆகியவற்றை அலைக் கொள்கையால் விளக்க முடியவில்லை; துகள் கொள்கையால் விளக்க முடிந்தது. எனவேதான் லூயி டி ப்ராக்லி அலை மற்றும் துகள் ஆகிய இரு பண்புகளையும் கொண்டவையே பொருள்கள் என விளக்கினார். இதன்படி, ஒரு அலைக்கு அதிர்வெண்ணும் (frequency) அலைநீளமும் உள்ளது போன்று, இயங்கும் ஒரு துகளுக்கும் இவை இருத்தல் வேண்டும். இயக்கத்திலுள்ள ஒவ்வொரு துகளும் ஒரு அலைப் பெட்டகத்திற்கு (wave packet) சமமாகும். மேலும் அலைப் பெட்டகத்தின் திசைவேகமும் துகளின் திசைவேகமும் சமமாக இருக்கும்.

476 ஆகர் விளைவு (Auger Effect)

ஓர் அணுவில் இருக்கும் எலக்ட்ரான்கள் பொதுமையங்கொண்ட கோள வடிவக் கூடுகளில் (spherical shells) இயங்குகின்றன. X-கதிர் அவ்வணுவின் மேல் விழுந்தால், அவ்வணு அந்த X-கதிரை உட்கவர்ந்து, உட்கூட்டிலிருக்கும் எலெக்ட்ரான் ஒன்றை வெளிப்படுத்துகிறது. இதை ஒளிமின் விளைவு (photo - electric effect) என்கிறோம். இதனால் அவ்வணு உயர் ஆற்றல் மட்டத்தை அடைகிறது. அதன் கூடுகளிலுள்ள எலெக்ட்ரான் இடம் ஒன்று காலியாகி விடும். வெளிக்கூட்டில் இருக்கும் எலக்ட்ரான் ஒன்று உட்கூட்டில் காலியாக இருக்கும் இடத்துக்குத் தாவும். இதன் விளைவாகத் தோன்றும் ஆற்றல் இரு முறைகளில் வெளிப்படுகிறது. ஒன்று தனிச் சிறப்புப் பண்புள்ள X-கதிர்கள் என்று சொல்லப்படும் கதிர்வீச்சு, மற்றொன்று கதிர்வீச்சு அல்லாத அயனியாக்குதல் முறையில் எலெக்ட்ரான் ஒன்று இந்த ஆற்றலை உட்கவர்ந்து கொண்டு அணுவை விட்டு வெளியேறுதல். இந்தக் கதிர்வீச்சு அல்லாத முறையைத்தான் ஆகர் விளைவு என்கிறோம். இதை 'தானே அயனியாக்கு (Auto-ionisation)' முறை என்றும் கூறுவர். இவ்வாறு வெளிப்படும் எலெக்ட்ரானை ஆகர் எலக்ட்ரான் என்று அழைக்கிறார்கள்.

இந்த ஆகர் எலக்ட்ரான், அணுவின் எலக்ட்ரான் கூட்டமைப்பில் மற்றொரு இடத்தைக் காலியாக விடுவதால், இந்த ஆகர் செயற்பாடு மேலும் தொடர வாய்ப்புள்ளது. இதனால் அடுத்து வெளிப்படும் எலக்ட்ரானை இரண்டாம் நிலை ஆகர் எலெக்ட்ரான் என்று கூறுகிறார்கள்.

477 ஆல்பா துகள்கள் (Alpha particles)

ஆல்பா துகள் என்பது ஹீலியத்தின் அணுக்கருவாகும். இது இரு புரோட்டான்களையும் இரு நியூட்ரான்களையும் கொண்ட நேர் மின்னூட்டமுள்ள துகள். பல இயற்கைக் கதிரியக்கங்களில் α–துகள்கள் வெளிப்படுகின்றன. இவற்றை ஆல்பாக் கதிர்கள் என்கிறோம்.

நேர்மின்னூட்டம் பெற்ற இந்த α-கதிர்களின் திசை, மின்புலத்தாலும் காந்தப்புலத்தாலும் மாற்றமடையக்கூடியது. இந்தத் திசை மாற்றத்தைக் கண்டறிந்து α கதிரின் மின்னூட்ட நிறைத் தகவை (e/m ratio) கணக்கிடலாம். இது 4.82×10^7 கூலும் / கி.கிராம் ஆகும். α-கதிரின் மின்னூட்ட - நிறைத் தகவு, ஹைட்ரஜன் அயனியின் மின்னூட்ட - நிறைத் தகவு மதிப்பில் பாதியாகும்.

α-கதிர்களுக்கு அயனியாக்கும் திறன் அதிகம். ஆனால் ஊடுருவு திறன் குறைவு. அயனியாக்கும் திறனைப் பயன்படுத்தி, α-துகளின் பாதையை வில்சன் முகிற்கலம் (Wilson's cloud chamber) மூலம் காணலாம். α-கதிர்கள் துத்தநாக சல்பைடு (zinc sulphide) பூசப்பட்ட திரையில் விழும்பொழுது ஒளிர்வு (Fluorescence) உண்டாகும்.

கதிரியக்கத்தில் வெளிப்படும் α-கதிர்களின் திசைவேகம் 1.45×10^7 மீ / வினாடி முதல் 2.2×10^7 மீ / வினாடி வரை மாறுபடுகிறது. இயல்பான வெப்ப-அழுத்தமுள்ள காற்றில் துகள்களின் நெடுக்கம் (range) R, அவற்றின் ஆற்றல் (E)-ஐ பொறுத்தது என Geiger கண்டறிந்தார்.

$R = aE^{3/2}$ (a = மாறிலி)

மேலும் கைகர், Nuttall என்பவருடன் சேர்ந்து α-துகள்களின் நெடுக்கத்துக்கும் அவற்றை வீசும் அணுக்கருவின் சிதைவு எண்ணுக்கும் (λ) உள்ள தொடர்பைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம் என்று கண்டார்கள்.

$\log \lambda = A + B \log R,$ (A, B மாறிலி)

இதை கைகர்-நட்டல் விதி (Geiger - Nuttall law) எனக் கூறுகிறோம்.

478 ஆல்பா துகள் சிதைவு (Alpha particle decay)

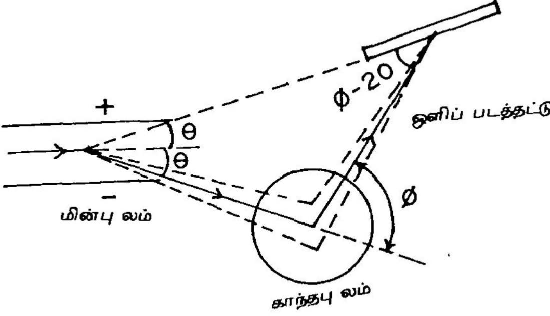
அணு எடை 200-க்கும் மேற்பட்ட தனிமங்கள் சாதாரணமாக α-துகள் கதிர் வீச்சினால் சிதைவுறுகின்றன. ஹீலியம் என்ற தனிமத்தின் அணுக்கருவைத்தான் α-துகள் என்கிறோம். α-துகளின் அணு எண் 2, அதன் அணு நிறை எண் 4 ஆகும். இதனால் - சிதைவினால் தோன்றும் சேய்த் தனிமத்தின் அணு எண், நிறை எண் ஆகியவை முறையே 2 மற்றும் 4 அலகுகள் குறைந்திருக்கும்.

α சிதைவில் வெளிப்படும் α-துகள்கள் ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றலைக் கொண்டுள்ளன. கதிரியக்க அணுக்கருவின் அரை ஆயுள், கதிர் வீச்சில் வெளிப்படும் α-துகள்களின் ஆற்றலைச் சார்ந்தது. α-துகளின் ஆற்றல் ஒரு சிறிது குறைந்தாலும் அதை வெளியிடும் கதிரியக்க அணுக்கருவின் அரை ஆயுள் பல மடங்கு அதிகரிக்கிறது. இந்த நுண்ணிய சார்பு நிலை ஒரு புதிராக இருந்தது. இதை காமொவ் கொள்கை (Gamow's theory) மூலம் விளக்கலாம். காமொவ், α-சிதைவை, அணுக்கருவினுள் முன்கூட்டியே தோன்றியுள்ள α-துகள்கள் கூலும் மின் அழுத்த மதிலை ஊடுருவிச் செல்லும் குவாண்டம் இயக்கவியலின்சாதனையாகக் கருதினார். வெளிவரும் α - துகளின் ஆற்றல், மின் அழுத்த மதிலின் உயரத்தைவிட மிகக் குறைவாக இருப்பதால், ஊடுருவிச் செல்லும் நிகழ் திறம் மிகவும் நுண்ணியமாக α-துகளின் ஆற்றலைச் சாரும்.

வெளிப்படும் துகளின் ஆற்றல், தாய்சேய் அணுக்கருக்களின் ஆற்றல் மட்டங்களின் வேறுபாட்டைப் பொறுத்தது. ஆதலின் α-துகளின் ஆற்றலைக் கண்டறிதல் மூலம், தாய்சேய் அணுக்கருக்களின் ஆற்றல் மட்டங்களை நிர்ணயிக்கலாம். இவ்வாறு, α-சிதைவு அணுக்கருவின் ஆற்றல் மட்டங்களைக் கண்டறிய உதவுகிறது.

479 ஆஸ்டன் நிறைமாலைமானி (Aston's mass spectrograph)

நிறைமாலை மானி மின்னூட்டமுள்ள அயனிகளின் மின்–நிறைத் தகவைக் காணப் பயன்படுகிறது. முதன்முதலில் தாம்ஸனின் பரவளைய முறைதான் (Thomson's parabolic method) இதற்குப் பயன்படுத்தப்பட்டது. இம்முறையின் சில குறைபாடுகளைத் தவிர்க்க திசைவேகக் குவிய முறையை (velocity focussing method) ஆஸ்டன் பயன்படுத்தினார்.



ஆஸ்டன் நிறைமாலை மானியில், நேர்மின் அயனிகள் மின்புலம் மற்றும் காந்தப்புலத்தின் மூலம் அடுத்தடுத்து படத்தில் காட்டியது போல திசை திருப்பப் படுகின்றன. மின்புலமும், காந்தப் புலமும் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக இருக்கின்றன. நேர்மின் அயனிகள் மின்புலத்தைக் கடந்து செல்லும்போது அவை தன் திசை வேகத்திற்கு ஏற்ப திசை விலக்கமடைகின்றன. அடுத்து காந்தப்புலத்தின் ஊடாகச் செல்லும்போது அய்னிகள் தமது மின்நிறைத்தகவுக்கு ஏற்ப தனித்தனியான புள்ளிகளில் குவிகின்றன. இந்தத் திறன்மிக்க ஆஸ்டன் நிறைமாலை மானி 1919–ஆம் ஆண்டு அமைக்கப்பட்டு, இயற்கையில் காணும் பல தனிமங்களின் ஐசோடோப்புகளின் நிறையை அளக்கப் பயன்படுத்தப்பட்டது. இப்பொழுது பன்மடங்கு திறன்வாய்ந்த நிறைமாலை மானிகள் பயனில் உள்ளன.

480 உறுதிப்பாடிலாமைக் கோட்பாடு அல்லது ஐயப்பாட்டுக் கொள்கை (Uncertainty principle)

பண்டைய எந்திரவியலில், (classical mechanics) இயக்கத்திலுள்ள எந்த ஒரு துகளுக்கும் ஒரு குறிப்பிட்ட உந்தமும் (momentum) இடமும் (position) உண்டு என்பதும், இவ்விரண்டையும் மிகத் துல்லியமாகவும், பிழையின்றியும், ஒரே நேரத்தில் கணக்கிடலாம் என்பதும் ஏற்புடையதாகும். ஆனால், கவள எந்திரவியலின்படி (quantum mechanics) இயங்கும் துகளின் உந்தம், இருப்பிடம் (position) ஆகியவற்றை ஒருங்கே பிழையின்றிக் காண முடியாது என்பது வலியுறுத்தப்படுகிறது. இதையே இயற்பியல் வல்லுநர் Heisenberg உறுதிப் பாடிலாமைக் கோட்பாடு என்ற பெயரில் முன் வைத்தார். இதுவே ஐயப்பாட்டுக் கொள்கை (principle of indeterminacy) எனவும் வழங்கப்படுகிறது. இது பொருட்களை அலை – துகள் (wave - particle) என்ற இரு வேறுபட்ட நிலைகளில் விவரிப்பதன் நேரடி விளைவாகும். இதன்படி ஒரு துகளின் இருப்பிடத்தை அறிதலிலுள்ள உறுதிப்பாடிலாமை, அதன் உந்தத்தை அறிதலிலுள்ள உறுதிப் பாடிலாமை ஆகியவற்றின் பெருக்குத் தொகை $h/2\pi$ அளவிற்குச் சமமாகும். இதில் h என்பது பிளாங்க் மாறிலி ஆகும்.

ஒரே நேரத்தில் துகள் ஒன்றின் இருப்பிடத்தை அறிவதிலுள்ள உறுதிப்பாடிலாமை Δx என்றும், அதன் உந்தத்தை அதே நேரத்தில் அறிவதிலிலுள்ள உறுதிப்பாடிலாமை Δp என்றும் கொண்டால், $\Delta x \times \Delta p = h/2\pi$ ஆகும். இதில், இயக்கத்திலிருக்கும் துகளின் இருப்பிடத்தை மிகமிகத் துல்லியமாக அறிந்தால், Δx-ன் மதிப்பு மிகக் குறைவாகும். அவ்வாறிருக்கும்போது, Δp–ன் மதிப்பு மிக அதிகமாக இருக்கும். Δp–ன் மதிப்பு மிகக் குறைவானால், Δx–ன் மதிப்பு மிக அதிகமாகும்.

481 எதிர் பருப்பொருள் (Anti matter)

எதிர் பருப்பொருள் என்ற கருத்துக்கு வித்திட்டவர் டிராக் (Dirac) என்ற அறிஞர். இவர் 1930–ஆம் ஆண்டு எலெக்ட்ரானுக்கான சார்பியல் சமன்பாட்டைக் கண்டறிந்தார்.

இதன் அடிப்படையில் எலெக்ட்ரானுக்கு ஓர் எதிர் துகள் (anti particle) இருக்க வேண்டும் என்று ஊகித்தார். இந்த எதிர் துகள்தான் நேர் மின்னூட்டமுள்ள பாசிட்ரான் (positron) ஆகும். இதை ஆண்டர்சன் (Anderson) 1933–ஆம் ஆண்டு முதன்முதலாகச் சோதனை மூலம் கண்டு பிடித்தார். பொதுவாக ஒவ்வொரு துகளுக்கும் ஓர் எதிர் துகள் இருத்தல் வேண்டும் என்று ஆய்வாளர்கள் ஊகித்தனர். இந்த எதிர் துகள் இணை மின்னூட்டமுள்ள துகளாக (charge conjugate particle) இருக்க வேண்டும். புரோட்டானுக்கு எதிர் துகள் எதிர் புரோட்டான் (Anti-proton) இந்த எதிர் புரோட்டானை 1955–ஆம் ஆண்டு செம்பெர்லே, செக்ரே (Chamberlan, Segre) என்பவர்கள் கண்டு பிடித்தார்கள். எதிர் நியூட்ரான் 1958–ஆம் ஆண்டு கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இவ்வாறு ஒவ்வொரு துகளுக்கும் ஒரு எதிர் துகள் இருக்க வேணடும் ன்பது உறுதியானது.

ஒரு துகளும், அதன் எதிர்த் துகளும் ஒன்று சேர்ந்தால், அவை இரண்டும் அழிந்து விடும். இதன் விளைவாக மெசான்களும், காமாக் கதிர்களும் வெளிப்படும். ஆனால் எதிர்த் துகள் தனிமையில் இருந்தால், அது துகளைப் போலவே நிலையாயிருக்கும்.

பாசிடரான், எதிர் புரோட்டான், எதிர் நியூட்ரான் போன்ற எதிர் துகள்களை உள்ளடக்கிய பருப்பொருள் எதிர் பருப்பொருள் எனப்படும். ஒவ்வொரு அணுவுக்கும் ஒரு எதிர் அணு இருப்பது சாத்தியம். எதிர் டியூட்ரான், எதிர் ஹீலியம் போன்ற எதிர் துகள்கள் சோதனைக் கூடத்தில் உருவாக்கப் பட்டிருக்கின்றன. எதிர் பருப்பொருள் அதன் பருப்பொருளுடன் சேராமல் தனிமையாக உள்ளவரை, நிலையாக இருக்கும். அண்டவெளியில் (Cosmos) பல எதிர் உலகங்கள் (Anti worlds) இருக்கக் கூடும் என்று ஊகிக்கின்றனர். இதுபற்றி அண்டப் படைப்புக் கோட்பாட்டில், பல கற்பனைகள் நிலவுகின்றன.

482 **எலக்ட்ரான்** (Electron)

எலக்ட்ரான் என்பது எல்லாப் பொருட்களிலும் உள்ள எதிர் மின்னூட்டமுடைய அடிப்படைத் துகளாகும். இது மின்னூட்டம் கொண்ட மென்துகளாகும். எலக்ட்ரானின் நிறை $m_e \approx 9.1 \times 10^{-28}$ gm. இது புரோட்டான் அல்லது நியூட்ரான் எடையில் தோராயமாக 1/1836 பங்காகும். 1895 ஆம் ஆண்டு ஜெ.ஜெ. தாம்சன் (J.J.Thomson) என்பவர் எதிர் மின் வாய் கதிர்களிலிருந்து எலக்ட்ரானைக் கண்டு பிடித்தார். எலக்ட்ரானே முதன்முதலில் அறியப்பட்ட அடிபபடைத்துகளாகும். எலக்ட்ரானின் மின்னூட்ட (charge) மதிப்பு $-e \approx 4.8 \times 10^{-10}$ esu = -1.6×10^{-19} கூலும். எலக்ட்ரானுடைய மின்னூட்டம் எதிர்மின்னூட்டமாகக் கொள்ளப்பட்டது. அதே சமயம் அதே அளவு மின்னூட்டம் உள்ள புரோட்டானின் மின்னூட்டம் நேர்மின்னூட்டமாக எடுக்கப்பட்டுள்ளது. இதனால் ஒரு கடத்தியில் எலக்ட்ரான் செல்லும்பொழுது அதற்கு எதிர்த் திசையில் மின்சாரம் செல்வதாகக் கொள்ளப்படுகிறது.

e–இன் மதிப்பைஆர்.ஏ. மில்லிக்கன் (R.A. Millikan) என்பவர் 1909 ஆம் ஆண்டு எண்ணெய்த் துளிச் சோதனை மூலம் கண்டறிந்தார். அணுப்பண்புகளையும் பொருட்களின் பண்புகளையும் எலக்ட்ரான் முடிவு செய்கிறது. பருப் பொருளின் வேதியியல் பண்புகளையும் எலக்ட்ரான் மூலம் கண்டறியலாம். பெர்மி–டிராக் புள்ளியியல் விதிககு எலக்ட்ரான்கள் கீழ்படிவதால் அவை பெர்மியான்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன.

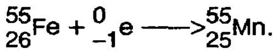
ஒவ்வொரு அடிப்படைத் துகளும் உள்ளார்ந்த கோண உந்தத்தை (intrinsic angular momentum) கொண்டுள்ளது. இது சுழற்சி எனப்படுகிறது. எலக்ட்ரானின் தற்சுழற்சி (spin) எண் 1/2 இதனால் எலக்ட்ரான் மேல்தற்சுழற்சி, கீழ்தற்சுழற்சி என்ற இரண்டு சுழற்சி நிலைகளைக் கொண்டுள்ளது. டிராக் எலக்ட்ரான் கொள்கை (Dirac's electron theory) மூலம்

எலக்ட்ரானின் நிலை மற்றும் காந்தத் திருப்புதிறன் (magnetic moment) பண்புகள் முதன் முதலாகத் தெரிய வந்தன.

483 எலக்ட்ரான் கைப்பற்றல் (Electron capture)

ஒரு பொருளின் ஊடகத்தினூடே செல்லும் ஓர் அணு அல்லது அயனி, ஒன்று அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட சுற்றுப்பாதை எலக்ட்ரான்களை இழக்கும் அல்லது எடுத்துக் கொள்ளும் நிகழ்விற்கு எலக்ட்ரான் கைப்பற்றல் என்று பெயர். பருப்பொருளின் வாயிலாக துகள்கள் செல்லும்பொழுது அவற்றின் வேகத்தைக் குறைக்கும் முக்கிய முறையாக எலக்ட்ரான் கைப்பற்றல் நிகழ்வு அமைகிறது.

இது தவிர இந்த எலக்ட்ரான் கைப்பற்றல் அணுக்கருவிலும் முக்கிய நிகழ்ச்சியாக நடைபெறுகிறது. ஓர் அணுக்கருவில் நியூட்ரான்களைவிட புரோட்டான்கள் அதிகமாக இருக்கும்பொழுது ஒரு புரோட்டான் நியூட்ரானாக மாற்றப்பட்டு ஒரு பாசிட்ரான் வெளியிடப்படும். ஆனால் சமயத்தில் இதற்குப் பதிலாக அணுக்கருவிற்கு வெளியே உள்ள சுற்றுப்பாதை (orbital) எலக்ட்ரான்களில் ஒன்றை அணுக்கரு கைப்பற்றுகிறது. இந்த எலக்ட்ரானும் புரோட்டானும் சேர்ந்து நியூட்ரான் உருவாகி கூடவே ஒரு நியூட்ரினோவும் தோன்றுகிறது. புரோட்டான் + எலக்ட்ரான் ---> நியூட்ரான் + நியூட்ரினோ. இதனால் நியூட்ரானுக்கும் புரோட்டானுக்கும் இடையே உள்ள தகவு அதிகமாகிறது. கீழ்கண்ட நிகழ்ச்சியை எலக்ட்ரான் கைப்பற்றுதலுக்கு எடுத்துக்காட்டாகக் கூறலாம்.



$$^{55}_{26}Fe + ^{0}_{-1}e \longrightarrow ^{55}_{25}Mn.$$

மேலே விளக்கப்பட்ட நிகழ்ச்சி சுற்றுப்பாதை எலக்ட்ரான் கைப்பற்றல் (orbital electron capture) என்று அழைக்கப்படுகிறது. பொதுவாக இந்த கைப்பற்றலுக்கு அணுக்கருவிற்கு அருகாமையில் உள்ள K-எலக்ட்ரான்கள் இலக்காகின்றன. அப்போது இது K- எலக்ட்ரான் கைப்பற்றல் என்று அழைக்கப்படும். சில சமயம் L-எலக்ட்ரான் கைப்பற்றும் நிகழலாம். இவ்வாறு எலக்ட்ரான் கைப்பற்றல் நடந்தால் இதைத் தொடர்ந்து X-கதிர்கள் வெளிப்படும். இதை வைத்து எலக்ட்ரான் கைப்பற்று நடந்ததா இல்லையா என்பதை அறிய முடியும்.

484 எலக்ட்ரான் – பாசிட்ரான் இரட்டைத் துகளாக்கம் (Electron - positron pair production)

இரட்டைத் துகளாக்கம் என்பது ஒரு உட்கரு அல்லது அடிப்படைத் துகள் முன்னிலையில் (vicinity) ஒரு எதிர் மின்னூட்ட எலக்ட்ரான் (negatron) – ஒரு நேர்மின்னூட்ட எலக்ட்ரான் (பாசிட்ரான் – positron) ஆகியன ஒரே சமயத்தில் (simultaneously) உருவாக்கப்படும் முறையாகும். இந்த முறையில், ஓர் எலக்ட்ரானும் ஒரு பாசிட்ரானும் ஒரே சமயத்தில் ஓர் அணுக்கரு அல்லது அடிப்படைத் துகள் அருகில் உருவாகின்றன. இதில் ஒரு மின்காந்த அலை போட்டான் உட்கவரப்பட்டு ஓர் எலக்ட்ரான்–பாசிட்ரான் இணை உருவாக்கப்படுகிறது. இது குறிப்பாக வெளி இரட்டைத் துகளாக்கம் என்று அழைக்கப்படுகிறது. $E = m_0c^2$ என்ற ஐன்ஸ்டீன் சமன்பாட்டிற்கு ஏற்ப, இந்த இரட்டைத் துகளாக்கம் ஆற்றலின் பொருண்மை வெளிப்பாட்டிற்கு ஒரு முக்கிய எடுத்துக்காட்டாக விளங்குகிறது. இந்த இரட்டைத் துகளாக்கத்திற்கு போட்டானின் ஆற்றல் $2m_0c^2$ ஆகவோ அல்லது அதற்கு அதிகமாகவோ இருக்க வேண்டும். இதில் m_0–எலக்ட்ரானின் நிறை, C-ஒளியின் திசைவேகம். $2m_0c^2$-இன் ஆற்றல் மதிப்பு 1.02 Mev ஆகும். போட்டானின் ஆற்றல் சரியாக 1.02 Mev-ஆக இருந்தால் உருவாகும் இரட்டைத் துகள்கள் ஓய்வு நிலையில் அமையும். போட்டானின் ஆற்றல் 1.02 Mev-க்கு அதிகமாக இருந்தால் இவ்வதிக ஆற்றலான $(hv-2m_0c^2)$, துகளின் இயக்க ஆற்றலாக வெளிப்படுகிறது. உந்த அழிவின்மை (conservation of momentum) விதியை நிலை நாட்டவும், உந்தச் சமநிலை ஏற்படுத்தவும் மூன்றாவதாக ஒரு துகளோ அல்லது துகள்களின் தொகுப்போ தேவைப்படுகிறது. அது

ஓர்அணுக்கருவாகவோ அல்லது மின்னூட்டமுள்ள ஓர் அடிப்படைத் துகளாகவோ இருக்கலாம்.

வெளி இரட்டைத் துகளாக்கம் நடைபெறுவது போலவே அணுக்கரு உள்ளேயே உள் (internal) இரட்டைத் துகளாககம் நடைபெற வாய்ப்புள்ளது. இந்த முறையில் கிளர்ச்சியடைந்த ஓர் அணுக்கரு வெளியிடும் மின்காந்த அலை (காமா கதிர்) அணுக் கருவை விட்டு வெளியேறும் முன்பே இரட்டைத் துகளாக மாற்றப்பட்டு அணுக்கருவிலிருந்து ஒரு பாசிட்ரான்–எலக்ட்ரான் இணை வெளிவருகிறது.

485 ஐசோடோப்பு (Isotope)

ஒரே மாதிரியான வேதியல் பண்புகள் வாய்ந்த வெவ்வேறு அணு எடைகள் (அல்லது) நிறைஎண்கள் பெற்ற தனிமங்கள் ஐசோடோப்புகளாகும். அதாவது, ஐசோடோப்புகளுக்கு அணுஎண்கள் சமமாகவும், நிறைஎண்கள் வெவ்வேறாகவும் இருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, ஹைட்ரஜன், யுரேனியம் என்ற தனிமங்களின் ஐசோடோப்புகள் முறையே $^{1}_{1}H$, $^{2}_{1}H$, $^{3}_{1}H$ மற்றும் $^{235}_{92}U$, $^{236}_{92}U$, $^{238}_{92}U$ ஆகும். இவற்றில் கீழுள்ள அணுஎண்கள் ஒரே எண்ணாகவும், மேலுள்ள நிறைஎண்கள் வெவ்வேறாகவும் உள்ளன. 1912–ஆம் ஆண்டு தாம்சன் என்பவர் நியான் அணுவில் முதல் ஐசோடோப்பைக் கண்டறிந்தார். எனினும் 1913–ஆம் ஆண்டுதான் சாடி என்பவர் ஐசோடோப்பு எனும் பெயரை அறிவித்தார். ஐசோடோப்பு என்றால் தனிம அட்டவணையில் ஒரேஇடம் என்பதாகும். நிறமாலைமானிகளின் துணைகொண்டு ஐசோடோப்புகளின் நிறை மற்றும் எண்ணிக்கை பற்றிய உண்மைகள் அறியப்பட்டன. மிக அதிகமான பத்து ஐசோடோப்புகள் பெற்ற தனிமம் டின் (Sn) ஆகும். ஐசோடோப்புகளில் கதிரியக்கம் வாய்ந்தவை பல துறைகளிலும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. செயற்கை முறையிலும் கதிரியகக ஐசோடோப்புகள் உருவாக்கப்படுகின்றன. அவற்றுள் ^{32}P, ^{60}Co, ^{131}I, ^{198}Au என்பன மருத்துவத் துறையில் பெரிதும் பயன்படுகின்றன.

486 ஐசோடோப்பு பெயர்ச்சி (Isotope shift)

அணு நிறமாலையில் ஏற்படும் மீநுண்வரி அமைப்பிற்கு அணுக்கருவின் தற்சுழற்சி மட்டுமின்றி ஐசோடோப்பு பெயர்ச்சி விளைவும் ஒரு காரணமாகும். நிறமாலை நுண்வரி அமைப்பில், ஐசோடோப்புகளின் நிறை மாறுபாட்டால் ஏற்படும் பெயர்ச்சியை ஐசோடோப்பு பெயர்ச்சி எனக் கூறுகிறோம். ஐசோடோப்புகளின் நிறைக்குத் தக்கவாறு, ரிடபர்க்கு மாறிலியில் சிறிய மாறுதல் ஏற்படுகின்றது. அதனால் நிறமாலையில் உள்ள வரியமைப்பின் அலைஎண்ணிலும் பெயர்ச்சி ஏற்பட்டு மீநுண் வரியமைப்பு உருவாகின்றது. ஹைட்ரஜன் அணு நிறமாலை வரியமைப்பில் ஏற்பட்ட ஐசோடோப்புப் பெயர்ச்சியின் மூலம்தான், 1932–ஆம் ஆண்டு யுரே என்பவர் டியுடீரியம் எனும் ஹைட்ரஜனின் ஐசோடோப்பைக் கண்டறிந்தார். நிறமாலையில் ஏற்படும் ஐசோடோப்பு விளைவின் காரணமாக, பல அறிய ஐசோடோப்புகளும் அவற்றின் நிறைகளும் கண்டறியப்பட்டன. மேலும் ஒரு தனிமத்திற்கு எவ்வளவு ஐசோடோப்புகள் என்றும் அவை எந்தத் தகவில் பரவியுள்ளன என்பதையும் அறிய அது பயன்படுகின்றது.

487 ஒப்புமை (Parity)

அணுக்கரு, அணு, மூலக்கூறு (Nuclear, atomic and molecular systems) போன்ற அடிபபடைத் துகள்களின் அமைப்பின் ஒப்புமை (parity) என்பது அலை எந்திரவியல் விளக்கத்தின்படி இயக்கத்தின் ஓர் அடிப்படைப் பண்பாகும். Ψ என்பது வெளி ஆயங்களைச் (space coordinates) சார்ந்த சார்பு மற்றும் தற்சுழற்சியின் நிலைச் சார்பு ஆகியவற்றின் பெருக்கலாகும். ஒரு துகளின் அலைச் சார்பின் $\Psi(x, y, z)$ எனப்படும் வெளி ஆயங்களின் திசையை -x, -y, -z என்று மாற்றிய பின்பும் அலைச்சார்பு மாறாமல்

இருக்குமானால் அதை இரட்டைப்படை ஒப்புமை என்கிறோம். இவ்வாறு வெளி ஆயங்களின் திசையை மாற்றும் பொழுது, அலைச்சார்பின் திசையும் மாறிவிடுமானால் (அதாவது Ψ என்பதிலிருந்து $-\Psi$ என மாறிவிட்டால்) அதை ஒற்றைப்படை ஒப்புமை என்கிறோம். இவ்வாறாக,

Ψ (-x, -y, -z, s) = Ψ (x, y, z, s) என்பது இரட்டைப் படை ஒப்புமையையும்,
Ψ (-x, -y, -z, s) = $-\Psi$ (x, y, z, s) என்பது ஒற்றைப் படை ஒப்புமையையும் குறிக்கும்.

கோண உந்தக் குவாண்டம் எண் l இரட்டைப் படையாக இருப்பின் மீட்சியின் (de-excitation) போது Ψ-ன் வெளிப் பகுதி (spatial part) திசைமாறாது. ஆனால் கோண உந்தக் குவாண்டம் எண் l ஒற்றைப் படையாக இருப்பின் மீட்சியின் போது Ψ-ன் வெளிப்பகுதி திசை மாறும். ஆகவே துகளின் l மதிப்பு இரட்டைப் படையாயிருப்பின் அதன் இயக்கம் இரட்டைப் படை ஒப்புமை பெற்றதாகவும், l மதிப்பு ஒற்றைப் படையாயின், ஒற்றைப் படை ஒப்புமை பெற்றதாகவும் கருதப்படும்.

ஒரு துகளின் கோண உந்தம் l எனின் $\Psi_l(-\vec{r}) = (-1)^l \Psi_l(\vec{r})$. துகள் உள்ளார்ந்த இரட்டைப்படை ஒப்புமை பெற்றிருப்பின் மொத்த ஒப்புமை $(-1)^l$, ஒற்றைப்படை உள்ளார்ந்த ஒப்புமை பெற்றிருந்தால் மொத்த ஒப்புமை $(-1)^{l+1}$.

மொத்த ஒப்புமை = $(-1)^l$ x உள்ளார்ந்த ஒப்புமைக்கு

= $(-1)^l$ (இரட்டைப் படை உள்ளார்ந்த ஒப்புமைக்கு)

= $(-1)^{l-1}$ (ஒற்றைப் படை உள்ளார்ந்த ஒப்புமைக்கு)

488 ஒளிர்தலும் நின்றொளிர்தலும் (Flourescence and phosphorescence)

ஒரு பொருள் அல்லது ஓர் ஊடகம் ஒளியாற்றலை உட்கொண்டு, பிறகு அதைக் குறைந்த ஆற்றல் உள்ள ஒளியாக வெளியிடும் நிகழ்ச்சிக்கு ஒளிர்தல் என்று பெயர். இந்த ஒளிர்தல் இரண்டு வகைப்படும். ஒன்று (உடன்) ஒளிர்தல் (flourescence), மற்றொன்று, நின்றொளிர்தல் (phosphorescence). முதல் வகையில் ஒளியாற்றல் உட்கொள்ளப்பட்ட உடனேயே ஒளிர்தல் நடைபெறுகிறது. இதில் ஏற்படும் கால தாமதம் மிக மிகக் குறைவு ($\approx 10^{-8}$ செ). இந்த முறை ஒளிர்தலில் ஒளிர்தலுக்குக் காரணமான ஒளியாற்றல் நின்றஉடனேயே ஒளிர்தலும் நின்று விடும். வீசப்பட்ட ஒளியாற்றலை உட்கொண்ட அடி நிலையில் உள்ள எலக்ட்ரான் கிளர்வுற்று முதல் நிலையை அடைகிறது. உடனே அது ஒளியாற்றலை வெளிவிட்டு கிளர்ச்சி நிலையிலிருந்து அடிநிலையை அடைகிறது. இந்த நிகழ்ச்சி தான் மேலே கூறிய ஒளிர்தலுக்கு காரணமாக அமைகிறது. இரண்டாவது வகை ஒளிர்தலில் வீசப்பட்ட ஒளி ஆற்றலை உட்கொண்ட அடி நிலையில் உள்ள எலக்ட்ரான் கிளர்வுற்ற நிலையை அடைகிறது. பிறகு அது உடனடியாக அடி நிலையை அடையாமல் ஒரு இடைப்பட்ட நிலைக்கு செல்கிறது. சிறிது கால தாமதத்திற்கு பிறகு ஒளியாற்றலை வெளிவிட்டு அடி நிலையை அடைகிறது. இப்படி ஓர் இடைப்பட்ட நிலையில் எலக்ட்ரான் வந்து தங்கி விடுவதால் ஒளிர்தலுக்குக் காரணமான ஒளியாற்றல் நின்ற பிறகும் கூட ஒளிர்தல் தொடர்ந்து நடைபெறுகிறது. இங்கு ஏற்படும் இக்கால தாமதம் முதல் வகையில் ஏற்பட்ட கால தாமதத்தை விட மிகவும் அதிகம். இக்கால தாமதம் ஒரு சில நிமிட (அ) மணியளவில் இருக்கும்.

கிளர்வுற்ற நிலையிலிருந்து இடைநிலைக்கு அதிகமான எலக்ட்ரான்களை அனுப்புவதன் மூலம் நின்று ஒளிரும் தன்மையை அதிகரிக்கலாம். இதற்காக ஊக்கிகள் (activators) பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

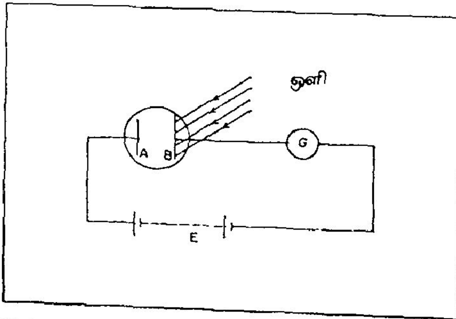
489 ஒளிசார் மின்கடத்தல் (Photo conductivity)

ஒரு உலோகமல்லாத (non metallic) திடப்பொருளை மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுக்கு உட்படுத்துகையில் அப்பொருளின் மின்கடத்தும் திறனானது அதிகரிக்கிறது. இதையே ஒளிசார் மின்கடத்தல் என்கிறோம். அப்பொருளானது போட்டானின் ஆற்றலை உட்கவருகையில் (கட்டுப்பாடற்ற) புதிய சுதந்திரமான ஊர்திகள் அதாவது எலக்ட்ரான்கள் உண்டாகின்றன. இவற்றின் காரணமாக அப்பொருளின் மின்கடத்தும் திறன் அதிகரிக்கிறது. இவ்வாறாக உருவாக்கப்பட்ட எலக்ட்ரான்களின் தகவு (ratio) மற்றும் வாழ்நேரம் (life time) ஆகியவற்றைப் பொறுத்து மின்கடத்தும் திறன் மாறுபடுகிறது.

ஒரு கடத்தியின் மின்கடத்தும் திறனானது σ, அதன் ஊர்தி (எலக்ட்ரான்) அடர்த்தி n, மின்னூட்டம் q, மற்றும் ஊர்திகளின் நகரும் திறன் (mobility) μ ஆகியவற்றின் பெருக்கல் பலனாகும். அதாவது $\sigma = nq\mu$. ஊர்திகளின் அடர்த்தியை அதிகரிப்பதன் மூலமாகவோ அல்லது ஊர்திகளின் நகரும் திறனை அதிகரிப்பதன் மூலமாகவோ, ஒரு கடத்தியின் மின்கடத்தும் திறனை அதிகரிக்கலாம். தனிப் படிகங்களின் (single crystal) கடத்தும் திறனானது ஊர்திகளின் அடர்த்தியை பொறுத்து அமைகிறது. ஆனால் கூட்டுப்படிகங்களின் (poly crystal) கடத்தும் திறனானது, குறிப்பாக, ஊர்திகளின் நகரும் திறனைச் சார்ந்துள்ளது.

490 ஒளிமின் விளைவு (Photoelectric effect)

γ–கதிர், X–கதிர், புற ஊதாக் கதிர் போன்றவை சில உலோகங்களின் மீது விழும் போது உலோகப் பரப்பு எலெக்ட்ரான்களை உமிழ்கின்றது. ஒளி வாயிலாக மின்னோட்டம் ஒன்றைப் பெறக் கூடிய இவ்விளைவு ஒளி மின் விளைவு என அழைக்கப்படுகிறது. இதனால் தோன்றுகின்ற எலக்ட்ரான்களை ஒளிமின் எலக்ட்ரான் எனவும், மின்னோட்டத்தை ஒளிமின் மின்னோட்டம் எனவும் கூறலாம். ஒளிமின் விளைவினை படத்தில் உள்ள அமைபபினைப் பயன்படுத்தி விளக்கலாம். வெற்றிட மாககப்படட குவார்ட்ஸ் குழாயினுள் A, B என்ற இரு துத்தநாகத் தகடுகள் அமைக்கப் பட்டுள்ளன. தகடு B மின்கலத்தின் எதிர்மின் முனையுடனும், A தகடு ஒரு கால்வனா மீட்டா வழியாக மின்கலத்தின் நேர்மின் முனையுடனும் இணைக்கப் பட்டுள்ளன. புற ஊதாக் கதிரினைத் தகடு B மேல் விழச் செய்யும் போது கால்வனா மீட்டர் குறிமுள் விலகல் அடைகிறது. தகடு A மேல் புற ஊதாக் கதிர் விழும் போது விலகல் ஏற்படுவதில்லை. B யில் உமிழப்படும் எலெக்ட்ரான்களை A தன்னை நோக்கி ஈர்ப்பதால் வெளிச்சுற்றில் மின்னோட்டம் தோன்றுகிறது. புற ஊதாக் கதிர் A மேல் விழும் போது, உமிழப்படும் எலக்ட்ரான்களை A ஈர்த்து விடுவதால் வெளிச்சுற்றில் மின்னோட்டம் ஏற்படுவதில்லை. படுகதிரின் அதிர்வெண் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுக்குக் கீழ் இருந்தால் ஒளிமின் விளைவு ஏற்படாது. ஒளிமின் விளைவு குவாண்டம் கொள்கையை அடிப்படையாகக் கொண்டது. இது ஓர் உடனடி நிகழ்ச்சியாகும். ஒளிமின் விளைவிற்கான ஐன்ஸ்டீனின் கொள்கைக்கு நோபல் பரிசு கிடைத்தது.



491 கதிரியக்கம் (Radio activity)

சில குறிப்பிட்ட தனிமங்களின் அணுக்கருக்கள் தாமாகவே சிதைந்து அதன் மூலம் α துகள்கள், β துகள்கள் மற்றும் γ கதிர்கள் போன்றவற்றை இழக்கின்றன. இந்நிகழ்ச்சி தன்னிச்சையான கதிரியக்கம் எனப்படும். இதை 1897–ல் ஹென்றி

பெக்கொரல் என்பவர் கண்டறிந்தார். பின்னர் α துகள்கள் என்பவை ஹீலியம் அணுவின் உட்கரு என்றும், β துகள்கள் மிகு ஆற்றல் பெற்ற எலக்டரான்கள் எனவும், γ கதிர்கள் மின்காந்தக் கதிர்வீச்சு என்றும் கண்டுபிடிக்கபபட்டது. இதற்குப்பின் மேடம் கியூரி என்பவர் கதிரியக்கம் பெற்ற பொலோனியம், ரேடியம என்ற தனிமங்களைக் கண்டுபிடித்தார். வெப்பநிலை, அழுத்தம் போன்றவற்றால் இக்கதிர் வீச்சுப்பண்பு பாதிக்கப்படாமையால் இது அணுக்கருவில் தோன்றுவதாகக் கருதப்பட்டது. α, β கதிர்கள் வெளிப்படுவதால் அணுவின் வேதியியல் பண்பு மாறுகிறது. யுரேனியம், தோரியம் மற்றும ஆக்டீனியம் என்ற மூன்று தனிமங்கள் கதிர்வீசலின் மூலம் மாற்றங் களுக்குள்ளாகி இறுதியில் ஈயம் என்ற நிலையான தனிமமாக மாறுகின்றன. இவற்றோடல்லாமல் கார்பன், லுடெட்டியம், நியோடிமியம், பொட்டாசியம், ரீனியம், ருபீடியம், சமாரியம் மற்றும் ஸ்கான்டியம் போன்ற தனிமங்களின் கதிர்வீச்சு ஐசோடோப்புகளும் கிடைத்துள்ளன. ஜூலியட் கியூரிகளின் செயற்கைக் கதிர்வீச்சுக் கண்டுபிடிப்புக்குப் பின்னர் நெப்டியூனியம் என்ற நான்காவது கதிர்வீச்சு அணியும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

492 கதிரியக்கக் கார்பன் கொண்டு ஆயுள் மதிப்பிடல் (Radio carbon dating)

10,000 ஆண்டுகள் காலகட்ட வரம்பிற்குட்பட்ட மரம் போன்ற பொருட்களின் வயதை இம்முறையில் மதிப்பிடலாம். கார்பன், C^{12} என்ற நிலையான ஐசோடோப்புகளையும், ஒரு சிறிய ஆனால் மாறாத தகவில் C^{14} என்ற கதிரியக்க ஐசோடோப்புகளையும் கொணடிருக்கும். இதன் அரை–வாழ்வுக் காலம் 5730 ஆண்டுகளாகும். வளிமண்டலத்திலுள்ள நைட்ரஜன் மீது காமா கதிர்களின் மோதலினால் C^{14} தோன்றுகின்றது. உயிர் வாழ்வனவெல்லாம் காற்றிலுள்ள CO_2–விலிருந்து கார்பனை உடகவர்கின்றன. உயிருடன் இருக்கும்போது C^{14}/C^{12} என்ற தகவானது நிலையாக இருக்கும். இறந்தபின் கதிரியக்கத்தினால் C^{14} ஐசோடோப் குறையத் தொடங்குவதால் இத்தகவும் குறையத் தொடங்குகின்றது. தேவைப்படும் ஒரு மாதிரியிலுள்ள (sample) C^{14} செறிவை ஒரு நுட்பமுடைய துகள் எண்ணியின் மூலம் கண்டறியலாம். இதிலிருந்து, அம்மாதிரியானது எத்தனை ஆண்டுகளுக்கு முன்பு இறந்திருக்கலாம் என்பதை மதிப்பீடு செய்யலாம். இக்காலக்கட்டம் 4,000 ஆண்டுகளுக்கு உட்பட்டிருந்தால் காலக்கணிப்பு மிகத் துல்லியமாக இருக்கும்.

493 கதிர்வீச்சுக்கான குவாண்டம் கொள்கை (Quantum theory of radiation)

கரும்பொருளிலிருந்து வெளிப்படும் ஆற்றலுக்கான அலைநீளத்தையும் ஆற்றல் தொடர்பையும் நியூட்டனின் இயக்கவியலால் விளக்க முடியவில்லை. 1900-ல் மாக்ஸ் பிளாங்க இதற்கான விளக்கத்தைத் தந்தார். அலையியற்றியொன்று ஆற்றலைத் தொடர்ச்சியாக உட்கவரும் அல்லது வெளிவிடும் என்ற கருத்தை அவர் புறக்கணித்தார். ஆற்றல் சிறுசிறு சமஅளவுக் கவளங்களாக உட்கவரப்படுகின்றன அல்லது வெளியிடப்படுகின்றன எனக் கணடறிந்தார். ஒவ்வொரு சிறு கவளமும் போட்டான் என அழைக்கப்படுகிறது. இந்த ஆற்றலின் அளவு $E = h\upsilon$ எனக் குறிப்பிடப்படுகிறது. இங்கு, h h என்பது பிளாங் மாறிலி. υ என்பது கதிர்வீச்சின் அதிர்வெண். பிளாங்க்கின் கொள்கையின்படி அலையியற்றியொன்றின் ஆற்றல் $h\upsilon, 2h\upsilon, 3h\upsilon, ..., nh\upsilon$ என்ற குவாணடாவின் (கவளத்தின்) முழு எண் அளவில்தான் இருக்க முடியும். சுற்றுப்புறத்துடன் தொடர்பில்லாத ஓரமைப்பின் கதிர்வீச்சு ஆற்றல் மட்டங்கள் தனித்தனியானவை (discrete) ஆகும்.

494 கரும் பொருள் கதிர்வீச்சு (Black body radiation)

தன் மேல் படும் வெப்பம் அனைத்தையும் உட்கவரும் பொருள் கரும் பொருள் எனப்படுகிறது. ஒரு முழுக் கரும்பொருள் படுவெப்பம் முழுவதையும் எங்கனம் உட்கொள்ளுகின்றதோ அதேபோன்று வெப்பத்தைக் கதிர் வீசவும் செய்யும். எனவே உயர்ந்த நிலையான வெப்ப நிலையிலிருந்து கதிர் வீசக்கூடிய வெப்ப மூலமாகக் கரும் பொருளைப் பயன்படுத்தலாம். இதனையே கரும் பொருள் கதிர்வீச்சு என்று கூறுவர். ஒரு முழுக் கரும் பொருளின் ஓரலகு பரப்பிலிருந்து ஒரு வினாடியில் வெளியிடப்படும் மொத்த வீசசு வெப்பம், அதன் ஒளி வெப்பநிலையின் நான்காவது மடிக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். கருப் பொருளின் வெப்பநிலை உயர உயர அதன் நிறமும் தொடர்ந்து மாறிக் கொண்டே செல்லும். காட்டாக, 525° செ. வெப்பநிலையில் மங்கலான சிவப்பு நிறத்தைக் கொள்ளும் கரும்பொருள் 900° செ. வெப்பநிலையில் நல்ல சிவப்பு நிறத்தைப் பெறும். மேலும் தொடர்ந்து சூடேற்றப்படும்போது 1100°செ. வெப்பநிலையில் மஞ்சள் நிறத்துடன் ஒளிரும் கரும் பொருள் 1250° செ. வெப்பநிலையில் வெண்மை நிறம் கொள்கிறது. இந்த அளவானது எதிர் மின் கதிர்களுக்கான அளவுகளை ஒத்துள்ளதால் பீட்டா துகள்கள் எதிர் மின் கதிர்களின் இயல்புகளைப் பெற்றிருக்கின்றன.

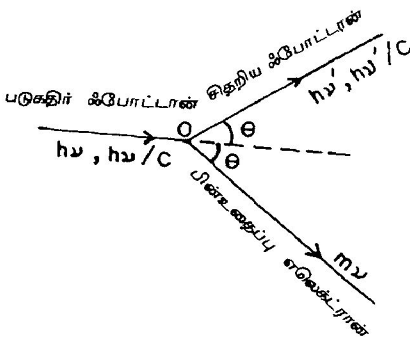
495 காம்ப்டன் விளைவு (Compton effect)

1922–ல், காம்ப்டன் ஓரினமற்ற சிதறல் (incoherent scattering) பற்றிய உண்மைகளுக்கு, ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையின் அடிப்படையில் விளக்கமொன்றைத் தந்தார்.

hv அளவு ஆற்றலுடைய ஒரு போட்டான், ஓர் எலக்ட்ரானுடன் மோதினால், அது எலெக்ட்ரானுக்கு இயக்க ஆற்றலைக் கொடுத்து, சிறிது ஆற்றலை இழக்கிறது. ஆகவே சிதறிய போட்டான் குறைந்த அளவுள்ள hv'என்னும் ஆற்றல் உடையதாக இருக்கும் (படம்) அதனால் படுகற்றையின் போடடானைவிட குறைந்த அதிர்வுஎண் கொண்டதாக, அல்லது அதிக அலைநீளம் கொண்டதாக இருக்கும். சிதறிய கதிர்வீச்சின் அதிர்வு எண்ணில் அல்லது அலைநீளத்தில் காணப்படும் மாறுதல், காம்ப்டன் விளைவு எனப்படும்.

சிதறல் நிகழ்ச்சியினை ஒரு போட்டானுக்கும், ஓர் எலெக்ட்ரானுக்கும் இடையே நிகழும் மீண்டெழுமோதல் எனக்கொண்டு, ஆற்றல் மற்றும் உந்தம் அழியா உண்மைகளைப் பயன்படுத்தி, இந்நிகழ்ச்சியில் ஏற்படும் அலைநீளமாற்றத்தைக் குறிக்கும் கோவையை,

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{2h}{m_0 c}\sin^2\frac{\theta}{2}$$ என்று காம்ப்டன் பெற்றார்.



அலைநீளத்தில் ஏற்படும் மாறுதல், படுகதிர்வீச்சின் அலைநீளத்தையோ அல்லது சிதறச் செய்பொருளின் தன்மையையோ பொறுத்தது அல்ல. ஆனால் அது சிதறல் கோணமாகிய θ–வைப் பொறுத்து இருக்கிறது. θச்ன் மதிப்பு 0°-லிருந்து 180° ஆக மாறும்பொழுது, சிதறிய போட்டானின் அலைநீளம் λ–ல் இருந்து $\lambda + ((2h)/(m_0 c))$க்கு மாறிச்செல்கிறது. $(h/(m_0 c)) = 0.0242$ Å என்பது காம்ப்டன் அலை நீளம் எனப்படுகிறது. படுகதிரின் அலைநீளம் போதிய அளவு சிறியதாக இருந்தால் மட்டுமே இவ்வாறு நிகழும். கடினமான X-கதிர்களை இலேசான தனிமங்களைக் கொண்டு சிதறச் செய்து, அதனால் ஏற்படும் அலைநீள மாற்றங்களை அளந்து சேர்த்து, காம்ப்டன் தன் கொள்கையின் உண்மைத்

தன்மையினையும், பொதுவாக கதிர்வீச்சுப் பற்றிய ஆற்றல் முடுச்சுக் கொள்கையின் சிறப்பினையும், ஐயத்திற்கு இடமின்றி நிலைநாட்டினார்.

496 காமா கதிர்கள் (Gamma rays)

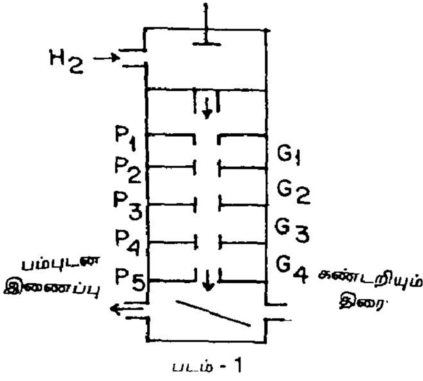
கிளர்வுற்ற (excited) அணுக் கருவில் இருந்து உமிழப்படும் மின்காந்தக் கதிர் வீச்சு காமா கதிர்கள் ஆகும். இயற்கையில் காமா கதிர் என்பது மின்காந்தக் கதிர் வீச்சின் ஒரு வகை (மிகக் குறைந்த அலை நீளம் கொண்ட போட்டான்). உயர் அதிர்வெண்ணைக் கொண்ட இந்தக் கதிர்கள் ஒளிக் கதிர்களையும் X-கதிர்களையும் உள்ளடக்கிய மின்காந்த அலைகளின் பட்டியலில் உள்ள ஒரு கதிர் வீச்சாகும். இக்கதிர்கள் மின் புலத்தினாலோ அல்லது காந்தப் புலத்தினாலோ பாதிக்கப்படுவதில்லை. உட்கருவிலிருந்து வெளிப்படும் காமா கதிர்களின் ஆற்றல் சுழியிலிருந்து 10 Mev என்றளவில் அமைகிறது. காமா கதிர்கள் இரட்டைப் பண்புடையவை. இவைகளை அலைகளாகவும், துகள்களாகவும் கொள்ள முடியும். காமா கதிரின் உள்ளார்ந்த அதிர்வெண் υ என்றால் அதன் அலை நீளம் $\lambda = C/\upsilon$, இதில் s என்பது ஒளியின் திசைவேகம். ஆற்றல் $E = h\ \upsilon$, இதில் h என்பது பிளாங்க் மாறிலி. போட்டானுக்கு நிலையான நிறையோ அல்லது மின்னூட்டமோ கிடையாது. ஆனால் ஐன்ஸ்டீன் நிறை ஆற்றல் தொடர்பின்படி காமா கதிர்கள் $p = h\upsilon/C = E/C$ என்ற உந்தத்தோடு தொடர்பு கொண்டுள்ளது. காமா கதிர்களை $NaI(T_1)$ மிளிரும் உணர்வியின் மூலம் உணர முடியும். பருப்பொருளின் இடைவினையில் போட்டானின் ஆற்றல் மொத்தமாகவோ அல்லது பாதியாகவோ உட்கவரப் படலாம். காமா கதிர்கள் நிறை, மின்னூட்டமற்று உயர் ஆற்றலைக் கொண்டிருப்பதால் பொருட்களை ஊடுருவிச் செல்லும் திறன் அதிகம் பெற்றுள்ளன. காமா கதிர்கள் இன்று அணுக்கரு ஆராய்ச்சியிலும், மருத்துவத் துறையிலும், தொழில் துறையிலும் அதிகமாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

497 காமா கதிர் கண்டுணர்வி (Gamma ray detector)

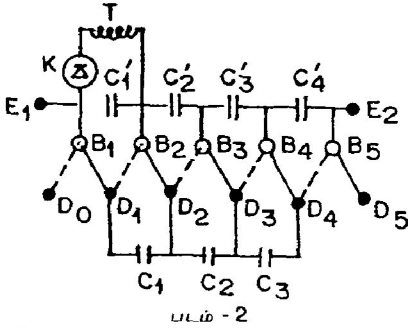
மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்களும் மின்னூட்டமற்ற கதிர்களும் பொதுவாக அயனியாக்கப் பண்பின் மூலமே கண்டுணரப்படுகின்றன. ஆல்பா, மற்றும் பீட்டா, போன்ற மின்னூட்டம்பெற்ற கதிர்களின் அயனியாக்கத்தைவிட, காமா கதிரின் அயனியாக்கம் மிகக்குறைவு. காமா கதிர் மின்னூட்டமற்று இருப்பதால் அது நேரடியாக அயனியாக்கத்தை ஏற்படுத்துவதில்லை. ஆனால், காமா கதிருக்கு மிக அதிக ஊடுருவும் தன்மை உண்டு. இத்தன்மையினால் இக்கதிர்கள் நின்றொளிர் (phosphor) பொருட்களால் உட்கவரப்படும்போது, எலக்ட்ரான்கள் வெளியிடப்படுகின்றன. இந்த எலக்ட்ரான்கள் வாயுக்களில் இரண்டாம்நிலை அயனியாக்கத்தை ஏற்படுத்துகின்றன. இதனடிப் படையில்தான் அயனிக்கலம், தகவு எண்ணி மற்றும் கைகர்–முல்லர் எண்ணி போன்ற கண்டுணர்விகள் காமா கதிர்களைக் கண்டுணர்கின்றன. காமா கதிர் கண்டுணர்வியில், அதிக அளவில் சோடியம் ஐயோடைடுப் படிகங்கள் நின்றொளிர்பொருட்களாகப் பயன்படுகின்றன. இப்படிகத்திற்கு காமா கதிரை உட்கவரும் தன்மை அதிகம். கண்டுணர்வியில், இரண்டாம்நிலை எலக்ட்ரான்கள் ஏற்படுத்தும் மின்னோட்டம் உரிய மின் சுற்றுகளினால் உருப்பெருக்கப்பட்டு, காமா போட்டான்களின் எண்ணிக்கையும் அவற்றின் ஆற்றலும் கணக்கிடப்படுகின்றன.

498 காக்ராப்ட்–வால்ட்டன் துகள் முடுக்கி (Cockcroft and Walton particle accelerator)

ஒரு மின்னூட்ட மின்புலத்தினூடே செல்லும்போது துகளின் மின்னூட்ட மற்றும் மின்புலத்துக்குக் காரணமான மின்னழுத்த வேறுபாடு ஆகிய இரண்டின் பெருக்குத்தொகைக்குச் சமமான இயக்க ஆற்றலைப் பெறுகிறது. இவ்வுண்மையை மனதில்கொண்டு காக்ராப்ட்டும் வால்ட்டனும் ஒரு துகள் முடுக்கியை உருவாக்கினர் (படம் 1). இம் முடுக்கியில் குழாய் ஒன்றில் காற்றை நீக்கி மின்வாய்களுக்கிடையே 800 kV வரை



படம் - 1



படம் - 2

மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படுகிறது. குழாயால் ஐந்து இரட்டை மின்வாய்கள் வரிசையில் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. முதல் மின்வாய்க்கும் இரண்டாம் மின்வாய்க்கும் இடையே 200 kV மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படுகிறது. அதே மின்னழுத்தம் அடுத்தடுத்துள்ள மின்வாய் களுக்கிடையேயும் கொடுக்கப்படுகிறது. மின் புலங்களும் ஒரே திசையைக் கொண்டவையாய் இருந்தால், முதலாவது மற்றும் ஐந்தாவது மின்வாய்களுக்கிடையே 800 kV மின்னழுத்த வேறுபாடு நிலவுகிறது. விரைவூக்கங் கொடுக்கப் படும் துகள், ஒரு மின்புலத்தினின்று இன்னொன்றுக்கு எளிதாகச் செல்லும்படியான திறந்த வழிகள் இருக்கின்றன. படத்தில் P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 என்பன மின்வாய்களைக் குறிக் கின்றன. G_1, G_2, G_3, G_4 – கண்ணாடிக்குழாய்கள். தனியான முறையில் குழாயினுள்ளே வெற்றிடம் உருவாக்கப்படுகிறது. முதல் மற்றும் கடைசி மின்வாய்களுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கேற்பத் துகள்கள் எலக்ட்ரான் வோல்ட்களில் ஆற்றலைப் பெறுகின்றன. இவ்வாறு முடுக்கப்பட்ட துகள்கள் சோதனைப் பொருளைக் கொண்ட இலக்கைத் தாக்குகின்றன. மாறாத மின்னழுத்தத்தை உண்டாக்க படம் 2-ல் காணும் முறை கையாளப்படுகிறது. இம்முறையில், C_1', C_2', C_3', C_4' மற்றும் C_1, C_2, C_3 ஆகியவை 200 kV மின் தேக்கிகள் ஆகும். இவை தக்க முறையில் திருத்தி வழியாக 200 kV கொடுக்கும் T என்ற மின்மாற்றியுடன் இணைக்கப்படுகின்றன. இவ்வமைப்பைக் கொண்டு E_1, E_2 முனைகளுக்கிடையே 800kVகளும், மற்றும் இரண்டிரண்டு மின்வாய்களுக்கிடையேயும், 200 Vகளும் மின்னழுத்தம் பெற ஏதுவாகிறது.

499 கிராவிட்டான் (Graviton)

இரு பொருட்களுக்கு இடையேயுள்ள புவியீர்ப்பு விசையை விளக்கப் பயன்படும் அடிப்படைத் துகள் 'கிராவிட்டான்' ஆகும். குவாண்டம் கொள்கையின்படி, பல்வேறு விசைகள் அவற்றிற்குண்டான புலத்துகள்களின் பரிமாற்ற இயக்கங்களினால் விவரிக்கப்படுகின்றன. மின்காந்த விசைக்கு போட்டான்களும், அணுக்கரு விசைக்கு மெசான்களும் புலத்துகள்களாக அமைவதுபோல், புவியீர்ப்பு விசைக்கு கிராவிட்டான்கள் புலத்துகள்களாகும்.

புவியீர்ப்பு விசை ஒரு தொலைதூர விசையாக இருப்பதால் அதன் புலத்துகளான கிராவிட்டானின் ஓய்வுநிறை சுழியாகும். அதன் வேகம் ஒளியின் திசைவேகத்திற்குச் சமம். கிராவிட்டான் நிறையற்ற ஒரு போசானாகவும், தற்சுழற்சி 2 மதிப்பு உடையதாகவும் இருக்க வேண்டுமென்பது அறிவியலாளரின் கணிப்பு. மற்ற துகள்களைப் போல் இத்துகள் இன்னும் கண்டறியப் படவில்லை. குவாண்டம் கொள்கையின் அடிப்படையில் ஓர் எதிர்பார்ப்பில் இத்துகள் அனுமானம் செய்யப்பட்டதாகும்.

500 குமிழ்க் கலம் (Bubble chamber)

குமிழ்க் கலமானது மிக அதிக ஆற்றல் வாய்ந்த துகள்களை ஆராயப் பயன்படுத்தப்படும் ஒரு கண்டுணர் கருவியாகும். இது முதன்முதலில் கிளேசெர் (Glaser)

என்பவரால் 1952ஆம் ஆண்டு உருவாக்கப்பட்டது. குமிழ்க் கலனில் ஈதர், திரவ நைட்ரஜன், ஐசோபென்டேன் போன்றவை இயல்பு நிலையில் 28° சென்டிகிரேடில் கொதிக்கும். ஆனால் இதன்மீது அதிக அழுத்தம் செயற்பட்டால் கொதிநிலை உயர்ந்து இயல்பான கொதிநிலைக்கு மேல் அதிகமான வெப்பநிலை அடைந்தாலும் கொதிக்காமல் நிற்கும். இப்போது திடீரென அழுத்தத்தைக் குறைத்தால் திரவம் மீச்சூடேற்றப்பட்ட நிலையை அடைகின்றது. இப்போது மீ வெப்பத் திரவத்தினுள் அதிக ஆற்றல் வாய்ந்த துகள்கள் பாய்ச்சப்படுகின்றன. இந்த மின்னூட்டத் துகள்கள் திரவத்தினுள் செல்லும்போது உண்டு பண்ணும் அயனிகளைச் சுற்றி சிறுசிறு குமிழ்கள் உருவாகித் துகள்கள் செல்லும் பாதையைக் காண்பிக்கும். குமிழ்களின்மேல் ஒளியூட்டித் துகள்களின் பாதையைப் படம் பிடிக்கலாம். மேலும் காந்தப்புலத்தைக் கலத்தினுள் உருவாக்குவதன் மூலம் துகள்களை விலகச் செய்து அவற்றின் மின்னூட்டம், திசைவேகம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடலாம்.

501 குவார்க்குகள் (Quarks)

இயற்பியல் வல்லுநர்கள் திண்மப் பொருட்களின் ஆக்கக் கூறுகள் புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் அல்ல, அவை குவார்க்குகள் என்னும் துகள்களால் ஆனவை எனத் தற்போது நம்புகின்றனர். இவை முர்ரே கெல்–மான் என்பவரால் உருவாக்கப்பட்ட கற்பித அடிப்படைத்துகள்களாகும். P′, n′, λ′ ஆகியவற்றால் குறிக்கப்படும் குவார்க்குகளும், அவற்றிற்கான எதிர்த்துகள்களும் உள்ளன. இத்துகள்களின் பண்புகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு வகைப்படுத்தலாம்.

குவார்க்கு	பேரியான் எண் B	தரிசம தற்சுழற்சி எண் I	தற்சுழற்சி குவாண்டம் எண் I3	உயர் மின்னூட்டம் Y	மின்னூட்டம் Q
p′	1/3	1/2	1/2	1/3	2/3
n′	1/3	1/2	-1/2	1/3	-1/3
λ′	1/3	0	0	-2/3	-1/3

இத்துகள்களின் நிறையும் ஆயுளும் நிலையற்றவை. இக்கொள்கையின்படி நியூட்ரானானது p′+2n′ ஆல் ஆக்கப்பட்டது; புரோட்டான் n′+2p′ ஆல் உருவானது. ஆனால் இதுகாறும் குவார்க்குகள் கண்டுபிடிக்கப்படவில்லை.

502 குவாண்டம் எண்கள் (Quantum numbers)

குவாண்டம் இயக்கவியலின்படி ஓர் அமைப்பின் பண்புகளான கோண உந்தம், மற்றும் ஆற்றல் போன்றவை தனித்தனி மதிப்புகளாக இருத்தல் வேண்டும். இதை நடைமுறைப்படுத்தும் செயல் குவாண்டம் ஆக்கல் எனப்படும். குவாண்டம் ஆக்கலால் அவ்வமைப்பு பெறக்கூடிய வெவ்வேறு மதிப்புகள் குறிப்பிட்ட சில எண்களால் மட்டுமே தீர்மானிக்கப்படும். இவை குவாண்டம் எண்கள் எனப்படும். எடுத்துக்காட்டாக போரின் அணுக் கொள்கையின்படி எலெக்ட்ரான்கள் தன்னிச்சையாக அணுக்கருவைச் சுற்றியுள்ள எல்லாச் சுழற்பாதைகளிலும் இயங்க முடியாது. கோண உந்தம் $(h/2\pi)$, $(2h/2\pi)$, $(3h/2\pi)$, ..., $(nh/2\pi)$ உள்ள சுழற்பாதைகளில் மட்டுமே எலக்ட்ரான்களின் கோண உந்தம் $mvr = nh/2\pi$ ஆகும். இங்கு n என்பது ஒரு முழு எண்ணாகும் ($n=0, 1, 2, 3 \ldots$). இவ்வாறாக, சுழற்பாதைக் கோண உந்தம் குவாண்டம் ஆக்கல் செய்யப்படுகிறது. எலக்ட்ரான்களின் நிலைகள் n, l, m, s என்ற நான்கு குவாண்டம் எண்களால் குறிப்பிடப்படுகின்றன. ஓர் எலக்ட்ரானானது இரு ஆற்றல் நிலைகளில்தான் இருக்க

முடியும். இது எலக்ட்ரானின் தற்சுழற்சி அச்சானது ஒரு குறிப்பிட்ட திசைக்கு இணையாக உள்ளதா அல்லது எதிரிணையாக உள்ளதா என்பதைப் பொறுத்தது. இவை +1/2 மற்றும் - 1/2 என்ற தற்சுழற்சிக் குவாண்டம் எண்ணால் (s) குறிக்கப்படுகின்றது.

503 குளுவான்கள் (Gluons)

குவார்க்குகளைப் பிணைத்து அடிப்படைத் துகள்கள் உண்டாவதற்கு வழி கோலும் விசைத் துகள்கள்தாம் குளுவான்கள். குளுவான் கோட்பாட்டின் மூலம் துகள் இயற்பியலில் பல உண்மைகளை அறிய முடிந்தாலும் கட்டுறா (free) குளுவான்கள் இதுவரை கண்டுபிடிக்கப்படவே இல்லை. குவார்க்குகளிடையே உள்ள வலுவான இடைவினையை குவாண்டம் குரோமோ இயக்கவியல் விளக்குகிறது. இதன்படி இச்செயலின் நடுநிலையாளராக எட்டு வகையான நிறையற்ற திசையி போசான்கள் உள்ளன. இவைகள் தாம் பின்னர் குளுவான்கள் என அழைக்கப்பட்டன. பசையாகச் செயற்பட்டு (குளு – glue) குவார்க்குகளை ஒட்டிப் பிணைத்ததால் குளுவான்கள் எனப் பெயர் பெற்றன. குளுவான்களுக்கு இடையேயும் வலுவான இடைவினை குளுவான்களை இடைப் பரிமாற்றம் (exchange) செய்வதன் மூலம் நடைபெறும் வாய்ப்பு உள்ளது. இதனால் குளுவான்களைத் தனிமை படுத்துவது இயலாது (குவார்க்குகளைப் போல்). பரிசோதனை மூலம் குளுவான்களைக் கண்டறிய பல முயற்சிகள் மேற்கொள்ளப்பட்டன. குளுவான்கள் இருப்பதும் நிரூபிக்கப்பட்டுள்ளது. வேகமாகச் செல்லும் எலக்ட்ரான் ஆற்றல் மிகு போட்டான்களை உமிழ்வதைப் போல், குவார்க்குகளும் வேகமாகச் செல்லும்போது ஆற்றல் மிகு குளுவான்களை உமிழலாம். மூன்று ஜெட் நிகழ்ச்சி எனப்படும், எலக்ட்ரான் + பாசிட்ரான் ---> குவார்க்கு + எதிர்குவார்க் + குளுவான் ---> ஹேட்ரான், மூலம் குளுவானின் சுழற்சி என்று நிர்ணயிக்கப்பட்டுள்ளது. முழுவதும் குளுவான்களால் ஆன குவார்க் இல்லாத மேசான்கள் உண்டாகலாம் என்று பின்வரும் குவார்க் எதிர் குவார்க் சிதைவு (decay) மூலம் அறியப்பட்டது. இந்த மெசான், குளுவான் பந்து என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.

504 சிங்ரோட்ரான் (Synchrotron)

மாறாத ஆரமுள்ள ஒரு வட்டவடிவப் பாதையில், மின்னூட்டம் பெற்ற எலகட்ரான்களை அல்லது புரோட்டான்களைக் காந்தப்புலத்தின் ஆட்சிக்கு உள்ளாக்கி இவைகளின் வேகத்தை முடுக்க இக்கருவி பயன்படுகிறது. இக்காந்தப்புலம் துகள்களின் சுழற்பாதை அமையும் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகச் செயற்படுவதுடன், நேர மாற்றத்திற்கும் உட்பட்டது. சுழற்பாதையில், வைக்கப்பட்டிருக்கும் குழிந்த அமைப்புகளின் மின்னழுத்தம் ரேடியோ அதிர்வெண்ணில் செயற்படும். இவ்வமைப்புகளின் வழியே செல்லும் துகள்கள் முடுக்கம் பெறுவதால் அவற்றின் இயக்க ஆற்றல் அதிகமாகிறது. துகள்களுக்கு இவ்வாறாக மீண்டும் மீண்டும் முடுக்கம் அளிப்பதன் மூலம் அவற்றின் இயக்க ஆற்றலை நூறிலிருந்து ஆயிரம் மடங்குவரை அதிகரிக்கலாம்.

505 சிங்ரோ சைக்ளோட்ரான் (Synchro cyclotron)

சிங்ரோ சைக்ளோட்ரான், சைக்ளோட்ரானின் மாறுபட்ட அமைப்பாகும். இதில் காந்தப்புலத்தை மாறாமல் வைத்துக்கொண்டு, மின்புலத்தின் அதிர்வெண் குறைக்கப்படுகின்றது. சைக்ளோட்ரானில், அரைவட்டப்பாதையைக் கடக்க துகள் எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் அதன் நிறைக்கு நேர்தகவில் இருக்கும். சார்பியல் கோட்பாட்டின்படி, துகளின் திசைவேகம் அதிகமாகும்போது அதன் நிறை அதிகரிக்கும். இதனால் துகளுக்கும் மாறுநிலை மின்புலத்திற்குமிடையே ஒரு கட்ட வேறுபாடு (Phase difference) தோன்றுகின்றது. இதை ஈடுசெய்ய, சிங்ரோ சைக்ளோட்ரானில் மின்புலத்தின் அதிர்வெண் சிறிது சிறிதாகக் குறைக்கப்படுகின்றது. 400 MeV–யிலிருந்து 500 MeV–வரை ஆற்றலுடைய துகள்களை இம்முறையில் பெறமுடியும். எடுத்துக்காட்டாக

சிகாகோவில்உள்ள சிங்ரோ சைக்ளோட்ரானில் மின்புலத்தில் அதிர்வெண் 28.6 MHz - லிருந்து 18.0 MHz - வரை குறைக்கப்பட்டு புரோட்டான்கள் 450 MeV வரை முடுக்கப்படுகின்றன.

506 சீமன் விளைவு (Zeeman effect)

ஒரு பொருள் புற காந்தப்புலத்திற்கு உட்பட்டால் அதனுடைய வரி நிறமாலை பிரிக்கப்படுகின்றது. இது சீமன் விளைவு எனப்படும். சீமன் விளைவை இரு வகைகளில் காணலாம். காந்த முனைத் துண்டுகளிலுள்ள துளை வழியாக நெடுக்காக (longitudinal) காந்தப்புலத்தின் திசையில் பார்க்கக் காந்தப்புலம் செயற்படாதபோது தோன்றிய அலைமாலை வரியானது, வலுவான காந்தப்புலம் செயற்படும்போது இரண்டாகப் பிரிந்து காணப்படுகிறது. இதில், ஒன்று மூலவரியினுடைய அலைநீளத்தைக் காட்டிலும் சிறிது குறைந்த அலைநீளத்தையும், மற்றது சிறிது அதிக அலைநீளத்தையும் கொண்டதாக இருக்கின்றன. காந்தப்புலம் செயற்படுவது நிறுத்தப்பட்டால், இவ்விரு வரிகளும் மறைந்து மூலவரி தோன்றுகிறது. புலம் செயற்படும்போது தோன்றிய இரு வரிகளும் மூலவரிக்கு சமச்சீரமையுடையனவாக இருக்கும். குறுக்காகக் காந்தப் புலத்திற்கு செங்குத்துத் திசையில் (transverse direction) பார்த்தால், புலம் செயற்படும்போது, மூலவரி மூன்றாகத் தெரியும். இதில் நடுவரியானது, மூலவரியின் அலைநீளம் கொண்டதாகவும், ஒன்று சற்றே அதிக அலைநீளமும், மற்றது சற்றே குறைந்த அலைநீளமும் கொண்டவையாகவும் இருக்கும். இது இயல்பான சீமன் விளைவு (normal Zeeman effect) ஆகும். வலுக்குறைந்த காந்தப் புலத்தில் பல வரிகள் தோன்றுகின்றன. இது முரணிய சீமன் விளைவு (anomalous Zeeman effect) ஆகும்.

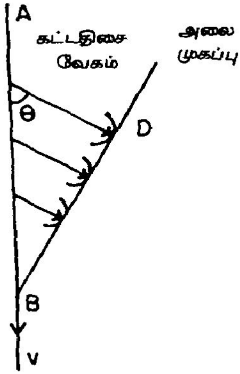
507 சுழிப் புள்ளி ஆற்றல் அல்லது அடிமட்ட ஆற்றல் (Zero point energy)

நேர்கோட்டில் சீரிசை அலைவு கொண்ட துகள், நேர்கோட்டுச் சீரிசை அலைவி (linear harmonic oscillator) என்று அழைக்கப்படும். கவளக் கொள்கையின்படி, இந்த அலைவியின் பல மட்ட ஆற்றலை $E_n = (n + \frac{1}{2})h\nu$ எனத் தருவிக்கலாம். இதில் n என்பது சுழி அல்லது முழு எண் ஆகும். h என்பது பிளாங்க் மாறிலி. ν என்பது அலைவியின் அதிர்வெண். இதிலிருந்து நேர்கோட்டுச் சீரிசை அலைவியின் ஆற்றல் மட்டங்கள் தொடர்ச்சியாக இல்லாமல் தனித்தனியாக இருப்பதையும், n சுழியாகும்போது, அலைவிக்கு ஆற்றல் உண்டு என்பதையும் அறிகிறோம். n சுழியாகும்போது உள்ள சீரிசை அலைவியின் ஆற்றலே சுழிப்புள்ளி ஆற்றல் அல்லது அடிமட்ட ஆற்றல் (zero point energy) எனப்படுகிறது. பண்டைய இயற்பியல் கொள்கைப்படி (classical theory) எந்த ஒரு துகளின் ஆற்றலும் தொடர்ச்சியானது (continuous energy) என்பதும், அடிமட்ட ஆற்றல் சுழியாகும் என்பதுமாம்.

508 செயற்கைக் கதிரியக்கம் (Artificial radio activity)

ஒரு சில தனிமங்களின் அணுக்கருவிலிருந்து தன்னிச்சையாக ஏற்படும் துகள்களின் வெளிப்பாடு கதிரியக்கம் எனப்படுகிறது. இதுவே ஒரு தனிமமானது செயற்கை முறையில் கதிர்வீச்சுக்கு உட்பட்டு அதன் அணுக்கருவிலிருந்து கதிரியக்கம் வெளிப்படுவதை செயற்கைக் கதிரியக்கம் என்று கூறப்படுகிறது. இந்த வகைக் கதிரியக்கம் 1931ஆம் ஆண்டு க்யூரி தம்பதியினரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இவ்வகை செயற்கைக் கதிரியக்க நியுக்ளைடுகளை இயற்கைக் கதிரியக்க நியுக்ளைடுகளைப் போன்றே இதன் அரை வாழ்வுக் காலம் மற்றும் இதிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்வீச்சு ஆகியவற்றால் பாகுபடுத்தலாம். இப்பண்புகள் அணுக்கரு வினைகளில் உண்டாகும் வினைப்பொருள் களின் வேதியியல் பண்புகளைத் தீர்மானிக்க மிகவும் உதவுகின்றன.

509 செரென்காவ் கதிர்வீச்சு (Cerenkov radiation)



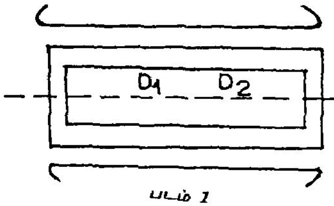
மின்னூட்டமுடைய ஒரு துகள் ஒரு பருப்பொருளினூடே, அந்த ஊடகத்தில் ஒளியின் கட்டத் திசைவேகத்தைவிட (phase velocity) அதிக திசை வேகத்தில் ஊடுருவும்போது கட்புலனாகும் ஒளிக்கதிர் நன்கு வீசப்படுகிறது. இந்த ஒளிக்கதிர் ஒரு தொடர் நிறமாலையாகும் (படம்). ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் μ ஆனால் ஊடகத்தில் ஒளியின் கட்டத் திசைவேகம் c/μ, துகளின் திசைவேகம் $v > (c/\mu)$ என்றிருந்தால் ஒளிபோட்டான்கள் ஒரு நிறமாலையாக வீசப்படுகின்றன. படத்தில்

$$\cos\theta = \frac{(c/\mu)}{v} = \frac{1}{\mu\beta} \qquad [\text{since } \beta = \frac{v}{c}]$$

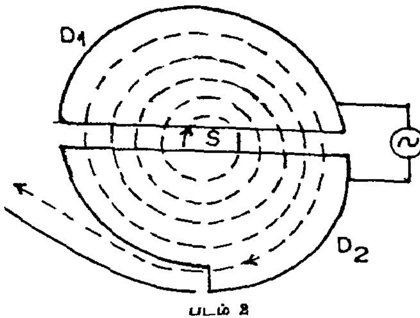
கொடுக்கப்பட்ட ஊடகத்தில் துகள்களின் பெரும திசைவேகம் $v=c$ ஆகும். எனவே $\theta_{பெருமம} = \cos^{-1}(1/\mu)$ வின் சிறுமமதிப்பு சுழியம். ஆகவே $\cos\theta=1$; $\beta = (1/\mu)$ அல்லது $v_c = (c/\mu)$. எனவே துகள்களின் பயன் தொடக்கத் திசை வேகம் $v_c = (c/\mu)$ ஆகும். இந்தத் திசைவேகத்தைவிடக் குறைந்த திசைவேகமுடைய துகள்கள் செரன்காவ் கதிர்வீச்சினைத் தோற்றுவிக்காது. (c/μ)விட அதிகத் திசைவேகமுடைய துகள்கள் குறிப்பிட்ட திண்மக் கோளத்தில் ($\theta = 0$ –லிருந்து $\theta = \cos^{-1}(1/\mu)$ வரை) செரென்காவ் நிறமாலையை தோற்றுவிக்கின்றன. 1934–ஆம் ஆண்டு செரென்காவ் இந்த நிறமாலையினை முதல்முதலில் கண்டுபிடித்தார்

510 சைக்ளோட்ரான் (Cyclotron)

1932–ஆம் ஆண்டு லாரன்ஸ் மற்றும் லிவிங்ஸ்டன் என்ற இரு அறிவியலாளர்கள் சைக்ளோட்ரானை உருவாக்கினர். சைக்ளோட்ரான் D_1, D_2 என்ற இரண்டு அரை வட்டப் பெட்டிகளைக் கொண்டது (படம் 1). இப் பெட்டிகள் குறைந்த அழுத்தத்தில், ஒரு குறிப்பிட்ட வாயு இருக்கும் மூடிய அறையினுள் வைக்கப்பட்டுள்ளன. இந்த அறை ஆற்றல் மிக்க காந்த துருவங்களுக்கிடையே வைக்கப் பட்டுள்ளது. D_1, D_2 இடையே, வினாடிக்கு 10–லிருந்து 20 மில்லியன் சுற்றுக்களுடைய, ரேடியோ அலைவுஎண் மாறுதிசை மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படுகிறது.



படம் 1



படம் 2

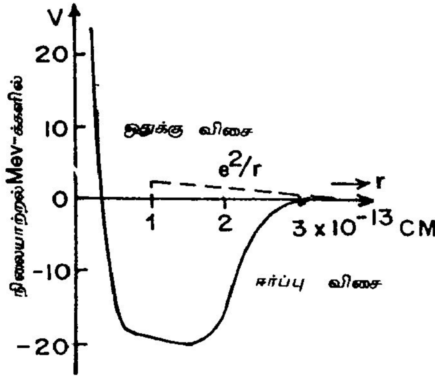
S-என்ற இடத்திலிருந்து (படம் 2), மின்சாரத்தால் சூடாக்கப்பட்ட கம்பி இழையிலிருந்து எலக்ட்ரான்கள் வெளிப்பட்டு, அங்குள்ள ஹைட்ரஜன் வாயுவை அயனிகளாக்குகின்றன. இவை நேர் மின்னேற்றத் துகள்கள் (புரோட்டான்கள்) ஆகும். ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் D_1 நேர்மின்வாயாகவும், D_2-எதிர்மின்வாயாகவும் கொண்டால், S-லிருந்து வரும் நேர்மின்னேறிய துகள், D_2-நோக்கி ஈர்க்கப்படும். மின்புலத்திற்குச் செங்குத்துத் திசையில் காந்தப்புலம் இருப்பதால், அத் துகள் D-யின் உள்ளே வட்டப்பாதையில் செல்லும்; D-யின் உள்ளே இருக்கும்வரை துகளின் வேகம் மாறாது. D_2-வில் அரை வட்டப்பாதையை முடித்து. D-க்களுக்கிடையே

யுள்ள வெளியை அடையும் பொழுது மின்னழுத்த விசைக்கு அது உட்படுகிறது.

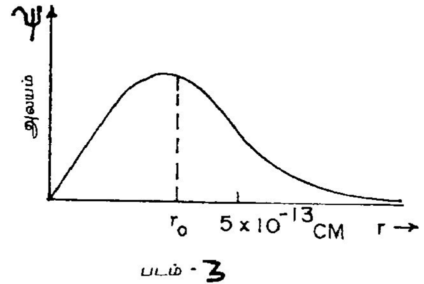
ஒரு கட்டத்தில் மின்னழுத்தத்தின் குறி (sign) மாறினால், D_1-எதிர்மின்வாயாக, துகள் D_1-நோக்கி முடுக்கப்படுகிறது. அத்துகள் மேலும் வேகமாக, அதிக ஆரமுடைய வட்டப்பாதையில் செல்கிறது. இப்படி மின்னழுத்தத் திசை குறிப்பிட்ட கால இடை–வெளிகளுக்குப்பின் மாறிக்கொண்டே இருப்பதால், துகள் மேன்மேலும் வேகம் அடைகிறது. துகள்களின் வேகங்கள் வெவ்வேறாக இருப்பினும் ஒரு துகள் D-க்குள் ஒரு சுற்று சுற்றி வர ஆகும் நேரம் மாறாததாகிறது. 1/50 பகுதி மின்னழுத்தத்தில் ஆரம்பித்து, படிப்படியாக முடுக்கப்பட்டு, முடிவில் 10 MeV ஆற்றலைக் கொண்ட புரோட்டான் கற்றையை சைக்ளோட்ரான் மூலம் பெற முடிகிறது. அறையினுள் ஹைட்ரஜனுக்குப் பதில் டியூட்டீரியத்தை எடுத்துக் கொண்டு, காந்தப்புலத்தின் ஆற்றலை இரு மடங்குகளாக்கி, 200 MeV ஆற்றல் உடைய டியூட்டிரான்களைப் பெறலாம். இவ்வாறே 40 MeV α–துகள்களையும் ஹீலியம் வாயுவைப் பயன்படுத்திப் பெறலாம். சைக்ளோட்ரான்களை 60 அங்குல, 37 அங்குல சைக்ளோட்ரான் என்று, காந்தத் துருவத்தின் விட்டத்தை வைத்துக் குறிப்பிடலாம்.

511 டியூட்ரான் (Deutron)

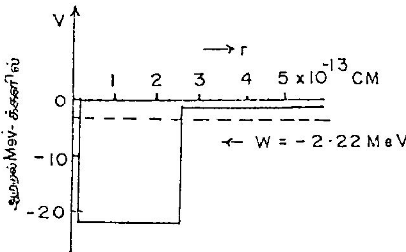
ஒரு புரோட்டானையும் ஒரு நியூட்ரானையும் மட்டுமே கொண்ட ஓர் அணுக்கரு டியூட்ரான் ஆகும். டியூட்ரானில் நியூட்ரானும், புரோட்டானும் 2.22 MeV ஆற்றலுடன் அணுக் கருவிசையால் பிணைக்கப்பட்டுள்ளன. ஒரு புரோட்டானும் ஒரு நியூட்ரானும் டியூட்டீரியம் அணுக்கருவாகப் பிணைக்கப்படும்பொழுது 0.00238 நிறை அழிக்கப்படுகிறது. இந்த நிறை 2.22 MeV ஆற்றலுக்குச் சமம். இந்த அளவு ஆற்றல் புதிதாக உருவாக்கப்பட்ட அணுக்கருவின் பிணைப்பு ஆற்றலாக (Binding energy) அமைகிறது. இது கதிர்வீச்சாக வெளிப்படுகிறது. டியூட்ரானைப் பிரிக்க வேண்டுமானாலும் 2.22 MeV அல்லது அதற்கு அதிகமான ஆற்றலைக் கொண்ட காமா கதிரைப் பயன்படுத்த வேண்டும். இந்த அணுக்கருத் துகள்களின் சுழற்சி ஓரிணையாக இருக்கிறது.



படம் - 1



படம் - 3



படம் - 2

இரு நியூக்ளியான்களுக்கு இடையேயான நிலையாற்றலின் வரையுரு படம் 1–ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இரு புரோட்டான்களுக் கிடையேயான மின் நிலையாற்றல் (e^2/r) ஒப்பிடுதலுக்காகக் காட்டப்பட்டுள்ளது (உடைக்கோடு). இந்த அணுக்கருவிசைகள் டியூட்ரானில் உள்ளதைப்போல ஓரிணையாக இருப்பின் படம் 1–ல் காட்டப்பட்டுள்ள சிறப்புத் தன்மையைப் பெற்றிருக்கும். முதல் நிலைத் தோராயமாக, இந்த நிலையாற்றலை $r_0 = 2.5 \times$

10^{-13} செ.மீ தூரமுள்ள 'சதுரக் கிணறாக' வரையலாம் (படம் 2). இதில் உள்ள இடைக் கோடு அடிமட்ட (Ground state) ஆற்றல் W-வைக் குறிக்கிறது. $r < r_0$ பகுதியில் உள்ள அலையம் ஒரு சைன் (sine) அலையமாக இருக்க வேண்டும். (இந்தப் பகுதியில் அது மாறாத உந்தத்தைப் பெற்றிருப்பதால் λ மாறாமல் இருக்கிறது). $r > r_0$ பகுதியில் அலையமானது மெதுவாகக் குறையும் எக்ஸ்பொனென்ஷியல் ஆகும். இந்த அடி ஆற்றல் மட்டம் W-ஐக் குவாண்டம் கொள்கையைப் பயன்படுத்தி எளிதில் கணக்கிடலாம். r_0 –ன் மதிப்பு (λ/4)-ஐவிட சற்றே அதிகமாக உள்ளது என்ற உண்மையின் அடிப்படையில் ஆற்றல் W மதிப்பிடப்படுகிறது. அவ்வாறு கணக்கிடப்பட்ட W-ன் மதிப்பு – 2.22 MeV ஆகும். இது சோதனையியல் முடிவுடன் ஒத்திருக்கிறது. டியூட்ரான் அலையமானது $r = 5 \times 10^{-13}$ செ.மீ அப்பாலும் பரவியுள்ளது (படம் 3). டியூட்ரான், எடைமிக்க அணுககருக்களைவிடக் குறைவான அடர்த்தியைக் கொண்டுள்ளது.

512 **தற்சுழற்சி** (Spin)

நீல்ஸ் போர் என்பவரின் அணுக்கொள்கைப்படி சோடியத்தின் நிறமாலை வரிகள் தனிப்பட்ட வரிகளாகும். உண்மையில் அவை மிகவும் நெருக்கமாக அமைந்த இரட்டை வரிகளாகும். இதை விளக்க 1925–ஆம் ஆண்டு பவுலி என்பவர் ஒவ்வொரு எலக்ட்ரானும் இரு ஆற்றல் நிலைகளில்தான் இருக்கமுடியும் என்ற கருத்தைத் தெரிவித்தார். இந்நிலைகள் எலக்ட்ரான்கள் தங்கள் அச்சைப் பொறுத்துச் சுழல்வதால் ஏற்படுகின்றன என்று உல்லென்பெக், கௌட்ஸ்மித் ஆகிய இருவரும் கூறினார்கள். எலக்ட்ரானுக்குச் சுழற்பாதை இயக்கத்தினால் ஏற்படும் கோண உந்தத்தோடுகூட உள்ளார்ந்த கோண உந்தமும் இருக்க வேண்டும். இந்த உள்ளார்ந்த கோணமானது தற்சுழற்சியால் (Spin) ஏற்படுகின்றது. இது $\sqrt{s(s+1)}\,(h/2\pi)$ என்ற தீர்வால் குறிக்கப்படுகின்றது. இங்கு s என்பது தற்சுழற்சிக் குவாண்டம எண் ஆகும். எலக்ட்ரான்கள் இரு நிலைகளில் இருக்க முடியுமென்பதால் s-ன் மதிப்பு +1/2 அல்லது -1/2 என்றாகின்றது. அநேகத் துகள்கள் அடங்கிய அமைப்பில், அவற்றின் தொகுபயன் தற்சுழற்சியானது எல்லாத் துகள்களின் தற்சுழற்சியானது எல்லாத் துகள்களின் தற்சுழற்சி எண்களின் திசைக் கூடுதலாகும். இது S என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படுகின்றது. அடிப்படைத் துகள்களுக்கு S க்குப் பதிலாக J என்ற குறியீடும், அணுக்கருத்துகள்களுக்கு I என்ற குறியீடும் வழக்கிலுள்ளன.

513 **திசையி அணு மாதிரி** (Vector atom model)

Rutherford, Bohr, Sommerfeld போன்றோர் தந்த அணு மாதிரிகள், செயல்முறையில் காணபபட்ட புது நிகழ்வுகளான முரணிய சீமன் விளைவு (anomalous Zeeman effect) ஸ்டார்க் விளைவு (Stark effect), ஆகியவற்றிற்கான விளக்கங்களைத் தரமுடியவில்லை. அணுவின் அமைப்பிற்கும் இந் நிகழ்வுகளுக்குமுள்ள தொடர்பு விளக்க முடியாமலிருந்தது. இக் குறைகளை நீக்கும் பொருட்டு திசையி அணு மாதிரி முன்மொழியப்பட்டது. இந்த அணு மாதிரி தோன்ற உறுதுணையாக இருந்த இயற்பியல் அறிஞர்கள் Bohr, Sommerfeld, Uhlenbeck, Goudsmit, Pauli, Stern மற்றும் Gerlach ஆவர். இவ்வணு மாதிரியானது இரு குறிப்பிட்ட பண்புகளை அடிப்படையாகக் கொண்டதாகும்; (1) சுற்றுப் பாதையின் திசையைக் கவளமாக்குதல் (quantisation of direction), (2) சுழலும் எலக்ட்ரான் (spinning electron) ஆகியவை. முதற் பண்பின்படி, சுற்றுப் பாதையின் திசையை நிர்ணயிக்க, புறப் புலவிசை (external field of force)–யைச் சார்ந்து வரையறுக்கப்பட்ட சுற்றுப்பாதைகளின் புலத்திசையின் மீதுள்ள வீழ்ச்சி (projection of quantised orbits on the field direction) கவளமாக்கப்பட்டவையாக இருக்கவேண்டும். இரண்டாவது பண்பானது, பூமி தன்னைத்தானே ஒரே அச்சில் சுற்றிக் கொண்டு சூரியனையும் சுற்றி வருவது போல் எலக்ட்ரான்களும் சுழல்கின்றன என்பதாகும். எனவே சுற்றுப்பாதை கவள எண்ணுடன் (orbital quantum number) சுழற்சி நிலை கவள எண்ணும் (spin quantum number) தேவையாகிறது. சுற்றுப் பாதையின் அளவு மட்டுமின்றி

திசையும் கவளமாக்கப்படுவதால், அவைகளைத் திசையிகளாகக் கொள்ள வேண்டும். எனவேதான் இந்த அணு மாதிரி திசையி அணு மாதிரி என்றழைக்கப்படுகிறது.

514 துகள் கண்டுணர்விகள் (Particle detectors)

அணுக்கரு வினைகளின்போது உமிழப்படுகின்ற ஆல்பா துகள், புரோட்டான், எலக்ட்ரான் போன்ற மின்னூட்டம் கொண்ட துகள்களின் நிறை, உந்தம், ஆற்றல் போன்றவற்றைக் கண்டறிவதற்குப் பயன்படும் கருவிகளைக் கண்டுணர்விகள் (detectos) என்பர். இந்தத் துகள்களின் தன்மையைக் கண்டறிவதற்கு அணுக்கரு வினையின்போது தோன்றுகின்ற கதிர்வீச்சுகளை வாயுக்களின் வழியாகச் செலுத்தி அயனியாக்கம் உண்டாக்கப்படும். இவ்வகையான கண்டுணர்விகள் பலவகைப்படும்.

1. **கெய்கர் – முல்லர் எண்ணி** (Geiger Muller counter) : ஜெர்மனியைச் சேர்ந்த ஸான்ஸ் கெய்சர்ரால் (Hans Geiger) கண்டுபிடிக்கப்பட்டு, முல்லரால் (Muller) சில சீரமைப்புகள் செய்யப்பட்டதால், இக்கருவி கெய்சர் முல்லர் எண்ணி என அழைக்கப்படுகிறது. கெய்சர் எண்ணியில், கதிர்கள் அல்லது துகள்களால் உண்டாக்கப்படும் அயனிகளால் மின்னோட்டம் துவக்கப்படுகிறது. அயனிகள் ஒன்று சேருவதைத் தடுக்கும் அளவுக்கு வலிமையுள்ளதும், ஆனால் வாயுவின் மின் கடத்தாத் தன்மை மீறிப் போகாத அளவுக்கு வலிமையற்றதுமான ஒரு மின்புலம், உருளைக்கும் கம்பிக்கும் இடைப்பட்ட பகுதியிலிருந்து அயனிசளைத் தள்ளி விடுகிறது. இந்த மின்புலத்தின் செறிவு அதிகமாக்கப்பட்டால், மின்னோட்டம் நுழைந்தவுடன் மின்னிறக்கத்தை ஏற்படுத்துகிறது. ஒரு துகள் நுழைந்தவுடன் அது உண்டு பண்ணும் அயனிகள் வாயு மூலக்கூறுகளுடன் மோதி மேலும் ஏராளமான அயனிகளை நொடிப்பொழுதில் (10^{-4} sec) உண்டாக்குகின்றன. நேர்மின்வாய்க்கு அருகிலுள்ள செறிவுமிக்க மின்புலத்தில், இரண்டாம் நிலை அயனிகள் (secondary ions) மேலும் பல அயனிகளை உண்டாக்கு கின்றன. இவ்வாறு நொடிப்பொழுதில் கோடிக்கணக்கான அயனிகள் உண்டாக்கப் படுவதால் திடீரென மின்னிறக்கம் உண்டாகிறது. இத்துடிப்பு மின்னிறக்கம் மின்தடை வழியாகப் பாய்வதால் ஏற்படும் மின்னழுத்தம் வால்வுச் சுற்றுகளால் (amplifer) பெருக்கப்பட்டு கணிப்பான்களை இயக்குகிறது. இவ்வாறு தனித்தனித் துகள் வருவதை, இக் கணிப்பான் அளந்து காட்டுகிறது. மின்துடிப்புப் பாயும்போது, அயனிகள் மின்துருவங்களுக்கு இழுத்துச் செல்லப்பட்டுவிடுவதால், அடுத்த துகள் வருவதைக் கணிக்கக் கருவி தயாராகிவிடுகிறது. இவ்வாறு இக்கணிப்பான் தானே இயங்கும் துப்பாக்கி போலச் செயற்படுகிறது.

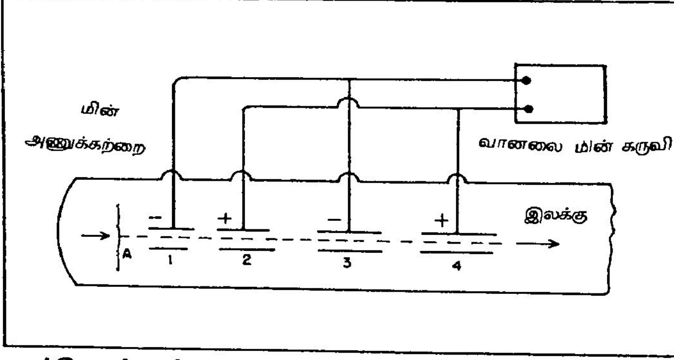
2. **முகிற் கலம்** (Cloud chamber): C.T.R. வில்சனால் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட, இக்கதிரியக்கக் கண்டுணர் கருவி பூமியிலிருந்து நீராவியை சுமந்து செல்லும் காற்று, மலை மீது சென்று மேகமாக மாற்றும் அடிப்படைத் தத்துவத்தை தன்னுள் அடக்கியது. அதாவது ஒரு கலனிலுள்ள தெவிட்டிய ஆவியைத் (saturated vapour) திடீரென விரிவடையச் செய்தால், ஆவி மிகவும் குளிர்வடைந்து (super cooled) கலனிலுள்ள தூசிகள்மீது நீர்த்திவலைகளாகப் படிகிறது. இது ஒரு மேகம் போலக் கலனில் உருவாகி, மெதுவாகக் கீழே இறங்கிப் படிந்து விடுகிறது. கலனில் தூசி இல்லையெனில், மேகம் இல்லை. மின்னூட்டம் இல்லாத அணு அல்லது மூலக்கூறுகளின்மீது நீர்த்திவலை படிவதில்லை. , கலனில் உள்ள அயனிகள் மீது நீர்த்திவலை படிவதால், அலனிகளின் பாதையை ஆராயவும், படம் பிடிக்கவும் இயலும்.

515 துகள் முடுக்கி (Particle accelerator)

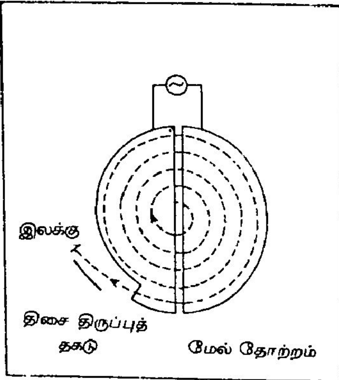
மின்னூட்டம் உள்ள துகள்களின் இயக்க ஆற்றலை அதிகப்படுத்தப் பயன்படும் கருவி துகள்முடுக்கி எனப்படும். எலக்ட்ரான்கள் மற்றும் நிறை குறைவான தனிமங்களின்

கருக்களாகிய புரோட்டான், டியூடிரான், ஆல்பா துகள்கள் முதலியன முடுக்கம் செய்ய எடுத்துக் கொள்ளப்படுகின்றன. துகள் முடுக்கிகளில் இரண்டு வகைகள் உள்ளன.

i. **நேர்போக்கு முடுக்கி** (Linear accelerator) : ஒன்று விட்ட மின்னிணைப்புக் கொண்ட பல குழாய்களின் வழியாக மின்னூட்டத் துகளைத் தொடர்ந்து முடுக்குதல் நேர்போக்கு முடுக்கியின் அடிப்படைத் தத்துவம் ஆகும். முடுக்கியில் குழாய்களின் நீளங்கள் ஏறு வரிசையாக இருக்கும். மாறுதிசை மின்னழுத்தம் இத் தொகுதிகளிடையே செலுத்தப்படும்பொழுது குழாய்களின் வழியாக வருகின்ற துகள் முடுக்கம் பெற்று அதனுடைய திசைவேகம் மிகுதியாகும். முடுக்கம் பெற்ற துகளின் ஆற்றல் வீணாகாமல் இருக்க, முடுக்கி முழுவதும் வெற்றிடத்தினுள் அமைய வேண்டும்.



ii. **சைக்ளோட்ரான்** (Cyclotron): லாரன்ஸ், லிவிங்ஸ்டன் (Lawrence, Livingstone) என்ற அறிஞர்கள் இத் துகள் முடுக்கியை அமைத்தனர். ஓர் உயர் அதிர்வெண் கொண்ட மாறுதிசை மின்னழுத்தக் கருவியுடன் இரண்டு அரைவட்ட உலோகப் பெட்டிகள் இணைக்கப்பட்டிருக்கும். உலோகப் பெட்டிகளுக்கு இடையில் மின்னூட்டத் துகளைத் தரும் மூலம் வைக்கப்படும். மிக வலிமையான மின்காந்த முனைகளுக்கு இடையே வெற்றி- டத்தினுள் இப்பெட்டிகளை வைக்க வேண்டும். துகளின் திசைவேகம் உயரும்போது அதன் நிறையும் உயரும். மின்னூட்டம் e, நிறை m, திசைவேகம் v, கொண்ட துகள் r ஆரம் உள்ள வட்டப் பாதையில் செல்லும்போது $(mv^2/r) = Bev$ ஆகும். B என்பது மின்காந்தம் ஏற்படுத்தும் காந்தத் தூண்டல் ஆகும். B துகளின் சுற்றுப்பாதைத் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக இருக்க வேண்டும்.



516 நியூட்ரான்கள் (Neutrons)

அணுக்கருவிலிருந்து வீசப்படும் β துகள்கள் எலக்ட்ரான்கள் என அறிந்த பின்னர், கருவினுள் புரோட்டான்களும் எலக்ட்ரான்களும் இருப்பதாகக் கொண்டு அணுக்கரு அமைப்புக்கு புரோட்டான்–எலக்ட்ரான் தொகுப்புக் கருதுகோள் கூறப்பட்டது. ஆனால் இக்கருதுகோள் அணுக்கருப் பண்புகளை விளக்க முடியாது என்பதை சோதனைகள் உறுதிப்படுத்தின. பின்னர் β வீச்சை விளக்குவது எங்ஙனம்? எலக்ட்ரானும் புரோட்டானும் சேர்ந்து உருவான மின்னூட்டமற்ற நியூட்ரான் என்ற துகள் அணுக்கருவில் இருக்க வேண்டும் என்பதே அவ்வினாவிற்கு விடை என ரூதர்போர்டு குறிப்பிட்டார். அதன்படி அணுக்கரு அமைப்புக்கு 'புரோட்டான் – நியூட்ரான்' கருதுகோள் வகுக்கப்பட்டது. A - நிறை எண்ணும், Z - அணு எண்ணும் கொண்ட அணுக்கரு Z புரோட்டான்களையும், (A-Z) நியூட்ரான்களையும் கொண்டதாகக் கருதப்பட்டது.

நியூட்ரானின் நிறையும் புரோட்டானின் நிறையும் ஏறத்தாழச் சமமாகும். அவைகளின் சுழற்சிகுவாண்டம் எண் 1/2 ஆகும். நியூட்ரானும் புரோட்டானும் நியக்கிளியானின் (Nucleon) குவாண்டம் நிலைகளாக எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டன. ஒரு நியூக்கிளியான் நியூட்ரான் குவாண்டம் நிலையிலிருந்து புரோட்டான் நிலைக்குத் தாவும் போது ஒரு எலக்ட்ரானும் (β^-), புரோட்டான் நிலையிலிருந்து நியூட்ரான் நிலையடையும் போது ஒரு பாசிட்ரானும் (β^+) வெளியாகின்றன. 1932–ஆம் ஆண்டு மின்னூட்டமற்ற இத்துகள் Chadwick என்பவரால் சோதனை மூலம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. 1.678 x 10^{-27} கி. கிராம் (1.008665 அணு நிறை அலகு) நிறை கொண்ட இத்துகளின் ஓய்வு நிலை ஆற்றல் 936.6 MeV ஆகும்.

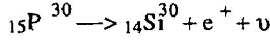
517 ***நியூட்ரினோ*** (Neutrino)

β ஆற்றல்மாலை α வரிமாலையைப் போல் அமையாமல் வரம்பெல்லை கொண்ட தொடர் மாலையாகும். அணுக்கரு தன் குவாண்டம் நிலைகளான புரோட்டான், நியூட்ரான் ஆகியவைகளில் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றுக்கு மாறும்போது β வீச்சு நிகழ்வதாகக் கருதலாம். ஆற்றல் அழிவின்மைக் கொள்கைப்படி அவ்விரு குவாண்டம் நிலைகளின் ஆற்றல் வேறுபாடுதான் வீசப்படும் β துகளின் ஆற்றலாகும். ஆகவே β மாலை தனித்தனி ஆற்றலளவு கொண்ட வரிமாலையாகத்தான் இருக்க வேண்டும். அவ்வாறின்றி தொடர்மாலையாக அமைந்திருப்பது ஆற்றல் அழிவின்மைக் கொள்கைக்கு முரண்பட்டது. இதனால் நேர்கோட்டியக்க உந்தம் அழிவின்மை, கோண இயக்க உந்தம் அழிவின்மை ஆகிய கொள்கைகளிலும் முரண்பாடு தோன்றும். கோண இயக்க உந்த அழிவின்மை மீறப்படுவதால், புள்ளியியல் இயல்பு அழிவின்மை (Conservation of statistics) விதியும் மீறப்படுகிறது. இம்முரண்பாடுகளை நீக்க, 1931–ஆம் ஆண்டு பௌலி நியூட்ரினோ கருதுகோளை முன்மொழிந்தார். இதன்படி β வீச்சில் நியூட்ரினோ என்ற புதிய துகள் ஆற்றலைப் பகிர்ந்து கொண்டு வெளிவருகிறது என்று கொள்ளப்பட்டது. β மாலையின் வரம்பெல்லைப் புள்ளியில் நியூட்ரினோவின் இயக்க ஆற்றல் சுழியாகவும், சிறும ஆற்றல் புள்ளியில் அது முழு ஆற்றலைப் பெற்றதாகவும், உச்சிப்புள்ளியில் இரு துகள்களும் சம ஆற்றல் பெற்றுள்ளன எனவும் கொண்டு, β துகள் நியூட்ரினோவுடன் பகிர்ந்து பெறும் இயக்க ஆற்றல் ஒரு தொடர்மாலையாக அமைய முடியும் என நிரூபிக்கப்பட்டது. மின்னூட்டம், நிறை ஆகியவற்றின் சரியீட்டுக் கொள்கைப்படி நியூட்ரினோவின் ஓய்வு நிறை, மின்னூட்டம் ஆகியவை சுழியாகக் கொள்ளப்பட்டது. நியூட்ரினோவின் கோண உந்தம் (1/2)h எனக்கொண்டு உந்த அழிவின்மைக் கொள்கையும், பெர்மி–டிராக் புள்ளியியல் பண்பு அழிவின்மையும் காக்கப்பட்டன. 1956–ஆம் ஆண்டு நியூட்ரினோ துகள் சோதனை மூலம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

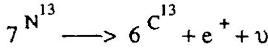
518 ***பாசிட்ரான்*** (Positron)

1932-ல் சி.டி. ஆண்டர்சன் (C.D. Anderson) என்பார் காஸ்மிக் கதிர் ஆய்வின்போது முகிற்கல நிழற்படங்களின் (cloud chamber photographs) வாயிலாக எலக்ட்ரானுக்குச் சமமான நிறையும் ஆனால் நேர்மின்னூட்டமும் உள்ள துகள்கள் இருப்பதைக் கண்டறிந்தார். அத்துகள்கள் நேர்மின் எலக்ட்ரான் அல்லது பாசிட்ரான் ஆகும். பாசிட்ரான் பொருட்களூடே பாயும் போது ஏதேனும் ஓர் எலக்ட்ரானுடன் சேர்ந்து பாசிட்ரோனியம் என்ற பாசிட்ரான்– எலக்ட்ரான் அமைப்பாக ஆவதும் உண்டு. அவை அளக்கக்கூடிய நேரம் வாழ்ந்து பின்னர் ஒன்றாக இணைந்து கதிர் வீச்சு அழிவாவதும் (annihilation radiation) நிகழும். இவ்வாறு அழியும் பண்பினால் பாசிட்ரான் எலெக்ட்ரானின் எதிர்துகளாகக் கருதப்படுகிறது. இவை மிகக் குறைந்த வாழ்வுக் காலத்தையுடையவை. அவற்றின் சராசரி வாழ்வுக் காலம் 10^{-10} வினாடி அளவாகும். தூண்டப்பட்ட கதிரியக்கத்தை உடைய தனிமங்கள் தாம் சிதையும் பொழுது (β decay) பாசிட்ரான்களை உமிழ்கின்றன. கதிர்

இயக்கத் தனிமங்கள் பாசிட்ரானை உமிழும்போது அணு எண்ணில் ஒன்று குறைகிறது. அணுக்கரு வினைகளின் போது பாசிட்ரான் வெளிப்படுவதற்கு இரு எடுத்துக்காட்டுகள்.



$${}_{15}P^{30} \longrightarrow {}_{14}Si^{30} + e^{+} + \upsilon$$



$${}_{7}N^{13} \longrightarrow {}_{6}C^{13} + e^{+} + \upsilon$$

519 பீட்டா துகள்கள் (β particles)

பீட்டா துகளானது எலக்ட்ரானின் நிறைக்குச் சமமானதும், எதிர் மின்னூட்டம் பெற்றதுமான ஒரு வகைத் துகளாகும். இந்தத் துகள்களின் அயனியாக்கச் செறிவானது குறைவான ஒன்று. இதனுடைய உட்புகும் திறமானது ஆல்பா துகள்களின் திறனை விட அதிகமாகும். பீட்டா கதிர்கள் மின்புலம் மற்றும் காந்தப் புலத்தினால் பாதிக்கப்படுகின்றன. பீட்டா துகள்களின் திசை வேகமானது ஒரு நிலையான அளவாக இல்லாமல் 2.36 x 10 –லிருந்து 2.83 x 10 செ.மீ. என்ற எல்லைக்குள் மாறுகின்றது. இவ்வாறு திசைவேகம் மாறும்போது இதனுடைய துகள் மின்னோட்டத்திற்கும், நிறைக்கும் இடையேயான தகவானது (e/m) 1.31 x 10 லிருந்து 0.63 x 10 செ.மீ. போ/கிராம் வரை மாறுகிறது. இந்த அளவானது எதிர் மின் கதிர்களுக்கான அளவுகளை ஒத்துள்ளதால் பீட்டா துகள்கள் எதிர் மின் கதிர்களின் இயல்புகளைப் பெற்றிருக்கின்றன.

520 பீட்டாட்ரான் (Betatron)

எலக்ட்ரான்களை மிக அதிக ஆற்றலுக்கு முடுக்குகின்ற பொறிகளில் பீட்டாட்ரான் சிறந்த பங்கு வகிக்கின்றது. இது முதன் முதலில் D.W.கெர்ஸ்ட் (Kerst) என்பவரால் 1941ஆம் ஆண்டு வடிவமைக்கப்பட்டது. இதனுடைய அமைப்பில் ஓர் வளை பந்து வடிவ (Dough nut shape) வெற்றிடக் குழாய் ஒன்றின் மேலும் கீழும் மின்காந்தமொன்று வலிமை மிகுந்த காந்தப் புலத்தை வெற்றிடக் குழாயினுள் உருவாக்கிறது. மற்றும் மின்காந்தமானது மாறு திசை மின்னோட்டத்தால் தூண்டபபடுவதால் மாறு மின்புல இயல்பிற்கேற்ப காந்தப் புலமும் வெற்றிடக் குழாயினுள் மாறும. ஆகையால் காந்தப் புலத்தின் முடுககம் உயரத் தொடங்கும் தருணத்தில் எலக்ட்ரான் துபபாக்கியிலிருந்து எலக்ட்ரானகள் வெற்றிடக் குழாயினுள் செலுத்தப்படுகின்றன. இவ்வாறு நுழைந்து ஆற்றல பெறும் எலக்ட்ரான்கள் காந்தப் புலமானது உச்ச மதிப்பை அடையும தருணத்தில் வெளியேற்றப்படுகின்றன. இதற்குப்பிறகு காந்தப்புலம் குறையத் தொடங்கி மீண்டும முடுக்கம் தரவல்லதாக மாறுகின்றபோது எலக்ட்ரான்கள் மீண்டும் உட்செலுததப்படுகின்றன. இவ்வாறு பீட்டாட்ரானில் இருந்து பெறப்படும் ஆற்றல் மிகு எலக்ட்ரான்கள் மூலம X- கதிர்களைப் பெறுவது இப்பொறியின் முக்கியப் பயனாகும்.

521 புரோட்டான் (Proton)

1932ல் ஜேம்ஸ் சாட்விக் (James Chadwick) என்பவர் நியூட்ரான் என்ற புதியதொரு துகளைக் கண்டுபிடித்த பின்னரே அணுக்கருவில் உள்ள புரோட்டானைப் பற்றி அறிய முடிந்தது. புரோட்டான் என்பது ஒரு ஹைடிரஜன் அணுக்கருவாகும். இது ஓரலகு நேர்மின்னூட்டம் கொண்டது. ஓர் அணுவானது மின் நடுநிலையில் இருக்கும்போது ஒரு புரோட்டானின் மின்னூட்டமும் ஓர் எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டமும் சமமாக இருக்குமாதலால், அணுக்கருவினுள் உள்ள புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கை

எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக்குச சமமாகும். அணுக்கருவினுள உள்ள புரோட்டான்களின் எணணிகைக அணு எண Z என அழைக்கப்படும் புரோடடான் ஒரு நிலையான துகள். இதன் வாழவு நேரம் வரமபறறது. புரோட்டானின் நிறை 1836 எலக்டரான்களின் நிறைக்குச் சமமானது ஆகும. இதனுடைய தறசுழறசி 1/2, காந்தத் திருபபுதிறன் 2.79275 நியூக்ளியர் மேகனடானுககுச் சமமானது.

522 புற யுரேனியத் தனிமங்கள் (Transuranic elements)

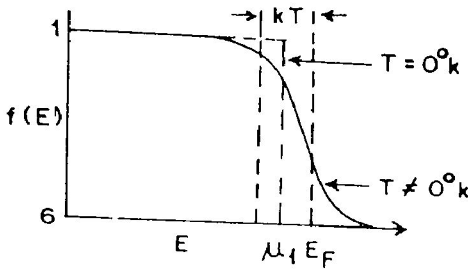
யுரேனியத்தின் கருவினை அதிகத திசைவேக நியூட்ரானகள தாககும்போது. புளூடோனியம், நெப்டியூனியம் அமெரிசியம போனற தனிமஙகள் கிடைககின்றன தனிம அட்டவணையில் (periodic table) இத் தனிமங்கள யுரேனியத்திறகுப பின உள்ளன. எனவே இவவகைத் தனிமங்கள புற யுரேனியத தனிமஙகள எனப்படுகின்றன. மாகமில்லன் (Mcmillan), ஏபில்சன் (Abelson) ஆகிய இரு அறிவியலாளர்கள மேற்கொணட ஆய்வுகளிலிருந்து அணு எண் 93 கொண்ட தனிமத்தைக் கணடுபிடித்தனர். ஞாயிறு மண்டலத்தில (solar system) யுரானசு (Uranus) எனற கோளுக்கு அருகேயுள்ள நெப்டியூன (Neptune) போனறு யுரேனியத்திற்கு அடுத்த இத்தனிமம் நெபடியூனியம எனப் பெயா பெறறது. மேலும யுரேனியம் -238 கரு அதிகத் திசைவேக நியூடரானைக் கவர்வதால, உறுதிநிலையற்ற யுரேனியம் -239 கருவாகிறது. இச செயலீட்டில காமாக கதிர் வெளியிடப்படுகிறது. பின, இநத யுரேனியம் - 239, ஓா எலக்ட்ரானை உமிழ்ந்து முதல புற யுரேனியத் தனிமமான நெபடியூனியமாக (நெப்டியூனியம் -93) மாறுகிறது. இது கதிரியககத்தினால் மேலும் ஒரு எலெகட்ரானை உமிழந்து புளூடோனியம - 94 ஆக மாறுகிறது. இதிலிருந்து, படிப்படியாக அமெரிசியம் - 95, கியூரியம் - 96, பொகலீயம - 97, கலிஃபோர்னியம் -98, அய்னஸ்டீனியம் -99, பொமியம -100, மேண்டலீயம -101, நொபீலியம் -102, லாரென்டசியம் -103, குர்செடோவியம -104 மறறும இன்னும பெயரிடபபடாத தனிமம் -105 ஆகியவை உணடாகின்றன. இத் தனிமங்களே புற யுரேனியத் தனிமங்களாகும்.

523 பெர்மி–டிராக் புள்ளியியல் (Fermi-Dirac statistics)

பவுலியின் தவிர்க்கைத தததுவததிறகு (Paul's exclusion principle) உடபடட தற்சுழற்சி எண 1/2 உள்ள துகள்களையோ அலலது துகள் தொகுதிகளையோ விளககும் புள்ளியியல் பெர்மி-டிராக் புள்ளியியல ஆகும. ஒரு தொகுதியின் மொத்த அலைக கூறு (total wave function), சமச்சீரற்றதாக (anti symmetric) இருக்கும்போது இந்த வகையான புள்ளியில அமைகிறது என டிராக காண்பித்தார். பெர்மி டிராக் புள்ளியியலின்படி எலக்டரான்கள எவ்வாறு ஆற்றல் நிலைகளில் (E_i) பங்கீட்டு அமைகினறன என்பதை பினவரும் பரவல் சாாபம் (distribution function) மூலம் அறியலாம்.

$$f(E_i) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E_i-\mu}{K_B T}\right)+1}$$

இதில் μ-பெர்மி ஆற்றல், K_B-போல்ட்ஸமான மாறிலி, T-தனி வெப்ப நிலை இந்தப் பரவல் சாாபத்தின் கூற்றுப்படி வெப்பநிலை 0 கெல்வின் ஆக இருககும் போது N-எலக்ட்ரான்கள கொணட ஒரு தொகுதியில் N/2 கீழ ஆறறல் நிலைகள் நிரப்பப்பட்டிருக்கும். இந்த வெப்ப நிலையில் நிரப்பப்பட்டிருக்கும் மேல ஆறறல் நிலை பெர்மி ஆற்றல் (Fermi energy) நிலைகள் ஆகும். பெர்மி ஆற்றல நிலைக்கு மேல் உள்ள ஆற்றல நிலைகள் காலியாக இருக்கும். பெர்மி-டிராக பரவல் சார்பின் பணபினை விளக்கும் படம் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. பொமி டிராக் பரவல் சார்பில் உள்ள exp $((E_i - \mu) / (k_B T))$ இன மதிப்பு ஒன்றை விட மிக அதிகமாக இருப்பின் இச்சமன்பாடு போலட்ஸ்மான பரவல் சமன்பாடாக அமைகிறது.



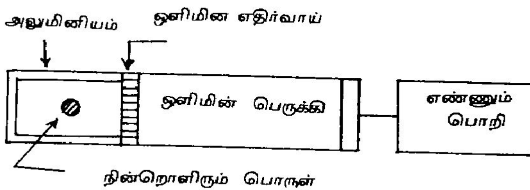
பெர்மி–டிராக் புள்ளியியலின் பயன்கள்: 1. மிகக் குறுகிய இடத்தில் அடைபட்டுள்ள அதிக எண்ணிக்கையில் உள்ள பெர்மியான்கள் இடையே பங்கிடப்பட்டுள்ள ஆற்றல் நிலையைக் காண்பதற்கு இப்புள்ளியியல் உதவுகிறது. 2. உலோகத்தில் கட்டுறா எலக்ட்ரான்கள் உள்ளன என்ற கூற்றை பெர்மி–டிராக் புள்ளியல் மூலம் நிரூபிக்கலாம். இதனைத் தொடர்ந்து ட்ரூட் என்பவர் வெயட்மேன்–பிரான்ஸ் விதிக்கு அளித்த விளக்கத்தை, இந்தப் புள்ளியியலால் நிரூபிக்கலாம். 3. பொதுவாக, தற்சுழறசி 1/2 உள்ள துகள்கள் தொடர்புடைய எல்லா அமைபபுகளிலும் (systems) இப்புள்ளியியல் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

524 போட்டான்கள் (Photons)

கதிர்வீச்சின் இருமைப் பண்புகளாகிய அலைப்பண்பு மற்றும் துகட் பண்பு ஆகியவைகளின் கலவையே போட்டான் ஆகும். போட்டான்கள் எத்தகைய மாறுதல்களின் போதும் தமது தனித்த பண்புகளை அப்படியே காப்பாற்றிக் கொள்ளும். போட்டான்கள் அணு அல்லது மூலக்கூறினால் முழுமையாக உட்கவர அல்லது உமிழப்படுகின்றன. போட்டான்களின் ஆற்றல் மாறும்போது தம்முடைய அதிர்வு எண்களைச் சரி செய்து கொள்ளும். போட்டான்கள் மின் இயல்பற்றவை (non-electrical). குவாண்டவியல் கருத்துப்படி போட்டான்களில் உள்ள ஆற்றலின் அளவு (n + 1/2)hυ SlyŸOhoDTleè'. nOe/Deø OfÖ!:)TWel ìó:Xe:yT h மற்றும் υ–ஐ உள்ளடக்கியது. போட்டான்களின் ஆற்றல் hυ அவற்றின் செறிவைப் பொறுத்தது அல்ல. அவற்றின் அதிர்வு எண்ணை மட்டுமே பொறுத்தது. போட்டான்கள் ஒளியின் வேகத்தில் செலுத்தப்படுவதினால் ஐனஸ்டீனின் சாபுக் கொள்கை அவற்றுக்குப் பொருந்தும். போட்டான்கள் என்றும் அழியாதன. அவற்றின் நிறை சுழியாகும். போட்டான்களின் தற்சுழற்சி மதிப்பு 1.

525 மினிர்தல் எண்ணி (Scintillation counter)

கதிரியக்கப பொருட்களிலிருந்து வெளிவரும் துகள்களின் எண்ணிக்கையைக் கண்டு கணக்கிடுவதற்கு மிளிர்தல் எண்ணி பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதில் ஓர் ஒளிமின் பெருககி (photomultiplier)–யுடன் நின்றொளிரும் (phosphor) பொருள் ஒன்றும் பயன்படுத்தப் படுகிறது. ஆல்பா துகள் ஒளிரும் பொருளின்மேல் படும்போது, அதில் மிளிர்தல் (scintillation) உண்டாகிறது. இம்மிளிர்தல் ஒளி ஓர் ஒளிமின் எதிர்வாயில் (photo-cathode) பட்டு ஒன்று அல்லது பல ஒளிமின் எலெக்ட்ரான்களை (photo-electrons) உமிழ்கிறது.



இவ்வாறு வெளிவிடப்பட்ட ஒளிமின் எலெக்ட்ரான்கள் ஒளிமின் பெருக்கியின் உதவியால் பெருக்கப்பட்டு, தகுந்த மின்சுற்றாலான எண்ணும் பொறிகளுக்குச் செலுத்தப்பட்டு எண்ணப்படுகின்றன. நின்றொளிரும் பொருளிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள், அப்பொருளைச் சுற்றியுள்ள அலுமினியத் தகட்டில் பட்டுப் பிரதிபலிக்கப்பட்டுப் பின் ஒளிமின் எதிர்வாயை அடைகின்றன. பெரும்பாலான மிளிர்தல் எண்ணிகளில் தாலியம் (thallium) கொண்டு ஊக்குவிக்கப்பட்ட (activated) சோடியம் அயோடைடு படிகங்கள், பொட்டாசியம் அயோடைடு படிகங்கள் நின்றொளிரும்

பொருளாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இவ்வகை எண்ணிகளைக் கொண்டு வினாடிக்கு 10^6 மினிர்தலைக் கணக்கிடலாம்.

526 **மின்பொறிக் கலன்** (Spark chamber)

இது மின் துகள்களைக் கண்டுபிடிக்கும் ஒரு கருவியாகும். வெளியில் (space) காணப்படும் மின்னூட்டப்பட்ட துகள்களின் பாதையைத் துல்லியமாகக் கண்டுபிடித்து, கண்ணுக்குப் புலனாகும்படி இது செய்கின்றது. இவற்றை அகல இடைவெளி வகை, குறுகிய இடைவெளி வகை என இரு வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். இவற்றுள் இரண்டாம் வகை குறுகிய இடைவெளியுள்ள இணைத்தகடு மின்தேக்கிகளின் தொகுப்பாகும். இதில் தகடுகளுக்கு இடையேயுள்ள தூரம் சுமார் 10 மி.மீ. ஆகும். மேலும் இதனுள் வளி அழுத்தத்தில் ஹீலியம் – நியான் கலவை நிரப்பப்பட்டிருக்கும்.

மின்பொறிக் கலனின் செயற்பாட்டைத் தொடங்கி வைப்பதற்கு ஒரு துணைநிலைத் துகள் கண்டுபிடிக்கும் கருவி தேவையாகும். இது தகடுகளின் அடுக்கிற்குக் குறைந்தநேர உயர் மின்னழுத்தத் துடிப்புகளை அளிக்கின்றது. உயர் மின்னழுத்தத் துடிப்பால் மின்பொறி மின்னிறக்கம் ஏற்படுகின்றது. இது அயனியாக்கப்பட்ட துகள்களின் பாதையைக் குறிக்கின்றது எனலாம். அவை கண்ணுக்குப் புலனாகும்படி அமைந்தால், 20 வரிகளைக்கூடக் காணமுடியும். முப்பரிமாணப் புகைப்படக் கருவிகளைக் கொண்டு துகள்களின் தடங்களைத் துல்லியமாகக் கண்டுபிடிக்கலாம். மின்னியல் மற்றும் எண்ணியல் முறையிலும் தடங்களைத் தீர்மானிக்கலாம். குமிழ் கலன்களைவிட இதன் பகுதிறன் குறைவே எனினும் செய்தி சேகரிப்பு வீதம் அதிகம். சிறப்புத் திறன்மூலம் தேர்வு செய்யப்பட்டவற்றை மட்டுமே புகைப்படமெடுத்தல் இதன் சிறப்பியல்பு ஆகும்.

527 **மீக்கடத்து திறன்** (Super conductivity)

குறைந்த வெப்பநிலையில் உலோகங்களின் மின்கடத்துதிறனை ஆய்வு செய்து கொண்டிருந்தபோது, கேமர்லிங் ஒன்சு என்ற இயற்பியல் அறிஞர் இம் மீக்கடத்து திறனைக் கண்டறிந்தார். குறிப்பாக, மெர்க்குரியின் வெப்பநிலையைக் குறைத்துக் கொண்டே போகையில், அதன் மின் தடைத்திறன் (resistivity) குறைந்து 4.2 K வெப்ப நிலையில் மறைந்துவிட்டது. 4.2 K வெப்பநிலைக்குமேல் அதன் மின் தடைத்திறன் மிகவும் குறைவாகவும், இவ்வெப்பநிலைக்குக் கீழ், அது அளவிட முடியாத அளவுக்குக் குறைந்து சுழியாகியும் விட்டது. இந்த வெப்பநிலையே அப்பொருளின் பெயர்வு வெப்பநிலை (transition temperature) எனப்படும்.

பெயர்வு வெப்பநிலைக்குமேல் பொருள் இயல்பு நிலையிலும் (normal state), அவ்வெப்பநிலைக்குக் கீழ் அது மீக்கடத்து நிலையிலும் இருக்கிறது. உலோகத் தனிமங்களில் மீக்கடத்துதிறன் நிகழ்கிறது. இப்பெயர்வு வெப்பநிலை நெடுக்கம் (range of transition temperature) உலோகக் கலவைகளுக்கு 23.2 K-யிலிருந்து குறைகடத்திகளுக்கு (semi - conductors) 0.01 K வரை உள்ளது.

ஆய்வுகளால் கண்டறிந்த மற்ற உண்மைகளாவன: 1. கலப்படமுள்ள உலோகத்தில் இம் மீக்கடத்து திறன் மறைவதில்லை; ஆனால் அதன் பெயர்வு வெப்ப நிலை குறையும்; 2. மீக்கடத்திகளின் பெயர்வு வெப்பநிலை அவற்றின் ஐசோடோப் நிறையை (isotopic mass) பொறுத்து மாறுபடும்;. 3. இயல்பு நிலையிலிருந்து மீக் கடத்து நிலைக்கு மாறும்போது வெப்ப எண் (specific heat) மற்றும் வெப்பக் கடத்து திறன் (thermal conductivity) போன்ற வெப்பத் தன்மைகள் திடீரென்று மாறுபடும்.

528 மீநுண் வரி அமைப்பு (Hyperfine structure)

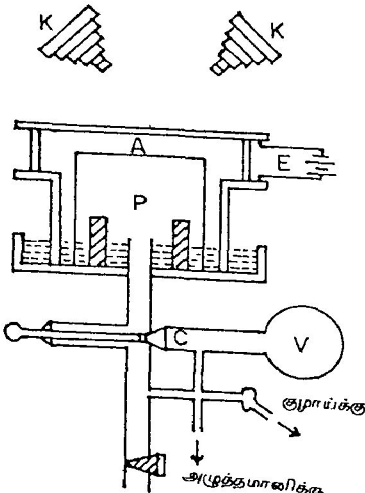
உயர்பிரிதிறன் கொண்ட நிறமாலைமானியில் ஏற்பட்ட அறிவியல் வளர்ச்சியின் காரணமாக, அணு நிறமாலையில் பல புதிய அமைப்புகள் கண்டறியப்பட்டு தெளிவாக்கப்பட்டன. அவற்றுள் நுண்வரி மற்றும் மீநுண்வரி அமைப்புகள் தலையாயவை. மைக்கல்சன், (Michalson) பேப்ரி (Fabry) மற்றும் ஃபெரோட் (Perot) ஆகியோரின் உயர்பிரிதிறன் கொண்ட நிறமாலை மானிகளின் மூலம் மீநுண்வரி அமைப்பு அணுக்கருவின் தற்சுழற்சியின் காரணமாக ஏற்படுகின்றது என்று பௌலி என்பவர் முதன்முதலில் விளக்கமளித்தார். நிறமாலையில் தோன்றும் வரிகள், நுண்வரிகள், மீநுண்வரிகள் அமைப்புகளுக்கு அணு எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் மட்டங்களில் ஏற்படும் மாற்றங்களே காரணமாகும். எலக்ட்ரானின் தற்சுழற்சி நுண்வரி அமைப்பிற்கும், அணுக்கருவின் தற்சுழற்சி மீநுண் வரி அமைப்பிற்கும் காரணமாகின்றன. சீமன் நிறமாலையில் தோன்றும் மீநுண்வரி அமைப்பு அணுக்கருவின் தற்சுழற்சிக்கும் அதன் காந்தத் திருப்புதிறனுக்கும் ஒரு நேரடிச் சான்றாக அமைகின்றது.

529 மீநுண் வரிபிரிப்பு (Hyperfine splitting)

சில தனிமங்களுக்குரிய நிறமாலைகளைப் பற்றி நிறமாலை மானி போன்ற கருவிகளால் ஆய்ந்தபோது அத்தனிமங்களுக்கு ஏற்றபடி ஒரே ஒரு வரிதான் தெரிந்தது. ஆனால் திறன்வாய்ந்த கருவிகளின் துணைகொண்டு ஆய்ந்தபோது அந்த ஒரு வரியே பல நுண் வரிகளாகப் பிரிந்து அருகருகில் அமைந்து காணப்பட்டன. இயல்பாக, அணுவிலுள்ள ஓர் எலக்ட்ரான் உயர் ஆற்றல் நிலையிலிருந்து குறைந்த ஆற்றல் நிலைக்குத் தாவும்போது கிடைக்கும் ஆற்றல் வேறுபாடு கதிர்வீச்சாக மாறி ஒரே வரி தெரிகிறது. ஆனால் உண்மையில் அணுவில் உயர் ஆற்றல் நிலையிலுள்ள எலக்ட்ரான் அருகில் உள்ள அணுக் கருவின் தற்சுழற்சி காந்தத் திருப்புதிறன் காரணமாக மிக நுண்ணிய வேறுபாட்டிற்குள் பல ஆற்றல் நிலைகளைப் பெற்றுள்ளது. இந்த ஆற்றல் நிலைகளுக்கிடையே எலக்ட்ரான் பெயர்வுக்கேற்பப் பல வரிகள் உருவாகின்றன. இதை மீநுண் வரிபிரிப்பு என நாம் அழைக்கிறோம்.

530 முகிற்கலம் (Cloud chamber)

மீத்தெவிட்டு (super-saturation) நிலையிலுள்ள ஆவியினூடே செல்லும் ஓர் அயனியைக் கருவாகக் கொண்டு ஆவி ஒரு பனித்துளியாகச் சுருங்கி அயனி செல்லும் வழியைத் தெளிவாகக் காட்டுகிறது என்ற உண்மையை, 1897–ல் சி.டி.ஆர். வில்சன் (C. T. R. Wilson) கண்டுபிடித்தார். இதைப் பயன்படுத்தி, முகிற்கலம் என்கிற துகள் உணர் கருவியை உருவாக்கினார் (படம்). இக் கலத்தின் செயலாக்கப் பகுதி, வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் விரிவடைந்து அதனுள் அடைக்கப்பட்ட ஆவியை, மீத்தெவிட்டு நிலைக்குக் கொண்டு வருகிறது. கலனின் ஒரு பக்கச். சுவர் வழியாக மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்கள் செலுத்தப்பட்டால், இத்துகள் களின்மீது பனித்துளி படர்ந்து, துகள்களின் பாதைகள் கண்ணாடிப் பக்கம் வழியாகப் படம் பிடிக்கப் படுகின்றன. முகிற்கலன்



A = உருளை வடிவ அறை V = வெற்றிடக் கொள்கலன
KK = காமிரா C = வால்வ P = ஊடியங்கு உருளை

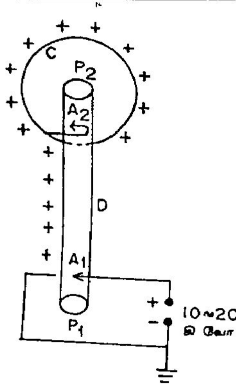
அமைக்கப்பட்ட தொடக்க காலத்தில் ஒரு துகளின் பாதையைப் படத்தில் காண, பல முறை படம் பிடிக்க வேண்டியிருந்தது. ஏனெனில், ஆவி விரிவடையும் தருணத் தில் (1/100 செ. கால அளவில்) ஒரு மின்னூட்டம் பெற்ற துகள், கலனுக்குள் சென்று கொண்டிருக்கும் என்று நிச்சய மில்லை. பி.எம்.எஸ். பிளாக்கெட் (P.M.S. Blackett) 1932–ல் ஒரு புதுமுறையைப் புகுத்தினார். கலனுக்கு மேலும் கீழும் இரு கைகர்முல்லர் எண்ணிகளை ஒன்றித்துப் பிணைத்து வைத்தார். இந்த எண்ணிகளூடே ஒரு மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் சென்றால் அது கட்டாயமாகக் கலனுக்குள்ளும் சென்றாக வேண்டும். இந்த எண்ணிகள் உண்டாக்கும் மின்னழுத்தம் பெருக்கப்பட்டு, அது உருளை நகர்வதற்கும், காமிராவை இயக்குவதற்கும், அடுத்த துகளுக்காகக் கலனைத்தயாராக்கி வைப்பதற்கும் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இக்கருவி 'எண்ணி கண்காணிக்கும் முகிற்கலம்' (Counter controlled cloud chamber) எனப்படுகிறது. மேற்கூறிய இடர்ப்பாட்டை நீக்கும் மற்றொரு கருவி 'பரவு முகிற்கலம்' ஆகும். வில்சனின் முகிற்கலம் கதிரியக்க உணர் கருவியாக மட்டுமல்லாது, அணு ஆராய்ச்சியிலும் பெருமளவில் பயன்படுத்தப்பட்டது. முகிற்கலனைக் கொண்டு, ஆண்டெர்சன் (Anderson) பாசிட்ரானைக் கண்டுபிடித்தார். இவரும், நெடர் மேயர் (Nedder Meyer)–ம் கூடி meson துகளைக் கண்டுபிடித்தனர்.

531 யுகாவாவின் மேசான் புலக் கோட்பாடு (Yukawa's Meson field theory)

அணுக்கருக்கள் புரோட்டான்கள் மற்றும் நியூட்ரான்களால் ஆனவை என்பதை அறிவோம். கருவில் புரோட்டான்களிருப்பதால் அவற்றிற்கிடையே கூலும் விலக்கு விசைகள் (Coulomb forces of repulsion) இருக்கும். இவ் விலக்கு விசைகளைக் காட்டிலும் மிக வலிய பிணைக்கும் விசைகள் இருந்தால்தான் அணுக்கரு நிலையாக இருக்கும். ஜப்பானிய இயற்பியலறிஞர் Yukawa அணுக்கரு விசைகளின் (nuclear forces) பண்புகளின் அடிப்படையில் மேசான் புலக் கொள்கையை உருவாக்கினார். கவளப் புலக் கொள்கைகளிலிருந்து இயற்பியல் விசைகள் தருவிக்கப்படுகின்றன. எடுத்துக்காட்டாக, (i) மின்காந்த விசையானது (electromagnetic force) புலத் துகளான (field particle) போட்டானின் பரிமாற்றத்தால் நிகழ்கிறது. (ii) புவி ஈர்ப்பு விசை (gravitational force) கிராவிட்டான் (graviton) என்னும் இன்னும் கண்டறியப்படாத புலத்துகளால் நிகழ்வதாக நம்பப்படுகிறது. இவற்றின் அடிப்படையில், யுகாவா 1935–ஆம் ஆண்டு அணுக்கருக்களிடையே செயற்படும் குறுநெடுக்க விசைகளும் (short range forces) புலத் துகளான மேசான்களால் நிகழ்வதாகக் கூறினார். மேசான்கள், பின்னர் 1936 ஆம் ஆண்டு ஆண்டெர்சன் (Anderson) மற்றும் நெடர் மேயர் (Neddermeyer) ஆகியோரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. மேலும் புரோட்டான், நியூட்ரான்களுக்கிடையே ஒன்று, மற்றதாக மாற மேசானைப் பரிமாறிக் கொள்கின்றன (exchange). இதுவே யுகாவாவின் மேசான் புலக் கோட்பாடு.

532 வான் டி கிராப் மின்னியற்றி (Van de Graff generator)

இது ஒரு துகள் முடுக்கியாகும் (particle accelerator). மின்னூட்டமுள்ள துகள் ஒன்று உள்ளீடற்ற கோளத்தினுள் வைக்கப்பட்டு, அது கோளத்தோடு இணைக்கப்பட்டால், துகளின் மின்னூட்டமெல்லாம் கோளத்திற்கு மாற்றப்பட்டு அதன் மேற்பரப்பில் தங்கும். இப்போது அத்துகள் நீக்கப்பட்டாலும் கோளத்தின் மேல் மின்னூட்டமிருக்கும். மீண்டும் ஒரு மின்னூட்டமுள்ள துகள் கோளத்தோடு இணைக்கப்பட்டால், அதன் மேற்பரப்பில் மின்னூட்டம் மேலும் அதிகமாகும். தொடர்ந்து நடைபெற்றால், கோளத்தின் மேற்பரப்பில் மிக அதிக அளவு மின்னூட்டமிருக்கும். இதுவே, "வான் டி கிராப் மின்னியற்றி" செயற்படும் விதமாகும். படத்தில் D என்பது தொடர்ச்சியான காகிதம், பட்டு அல்லது ரப்பரினால் ஆன பட்டை; P_1, P_2 என்பவை இரு கப்பிகள். P_1 என்ற கப்பி ஒரு மின் மோட்டாரால் சுற்றப்படுகிறது; A_1, A_2 என்பவை கூர்மையான முனையுடைய உலோகக் கம்பிகள்; C என்பது உள்ளீடற்ற ஆரம் அதிகமுள்ள ஒரு உலோகக் கோளம். 10–லிருந்து 20 கிலோ வோல்ட் மின்னழுத்தத்தின் நேர்மின் முனை A_1-உடன்



இணைக்கப்பட்டுள்ளதால், நேர் மின்னூட்டம் கூரிய ஊசியிலிருந்து பட்டைக்கு மாற்றப்படுகிறது. இது மேலே சென்று A_2 வழியே கோளத்திற்கு மின்னூட்டம் பரவுகிறது. மின்னூட்டம் இழந்த பட்டை கீழே வந்து மீண்டும் A_1-லிருந்து மின்னூட்டம் பெற்று மேலே சென்று அதைக் கோளத்துடன் சேர்க்கிறது. இது தொடர்ந்து செயல்படுவதால், கோளமானது மிக அதிக மின்னூட்டம் பெறுகிறது. இதனால் ஏறத்தாழ 10 MeV வரை மின்னழுத்தம் பெறலாம். இதன் மூலம் துகள்களை முடுக்கலாம்.

533 விரைவு உற்பத்தி அணு உலை (Fast breeder reactor)

இந்த அணு உலையில் பக்குவமான (fertile) யூரேனியம் -238 விரைவு நியூட்ரான்களால் பிளவுப் பொருளாக (புளோடினியம் -239) மாற்றப்படுகிறது. இதே போல் தோரியம் -232 உட்கொள்ளப்பட்டு பிளவுப் பொருளாக யுரேனியம் -233 உற்பத்தியாகிறது. இந்த முறையில் இயற்கையில் கிடைக்கும் பிளவுப் பொருளாகிய அரிய யூரேனியம் -235க்கு பதிலாக மற்ற தனிமங்கள் பிளவுப் பொருட்களாக மாற்றப்பட்டு அணு உலையில் உபயோகிக்கப்படுகின்றன.

விரைவு உற்பத்தி அணு உலைகளில் மூன்று வகையான மாற்றங்கள் நிகழலாம்.: 1. ஒவ்வொரு அணுப் பிளவின் போதும் பக்குவமான, அணுக்கரு–யூரேனியம் -238ஐ மாற்றுவதற்கு ஒன்றுக்குக் குறைவான விரைவு நியூட்ரான்களே இருந்தால் உற்பத்தி செய்யப்படும் பிளவுப் பொருள் உட்கொண்ட பிளவுப் பொருளை விடக் குறைவாக இருக்கும்; 2. மறு உற்பத்தி செய்யப்பட்ட பிளவுப் பொருள் உட்கொண்ட பிளவுப் பொருளுக்குச் சமமாக இருக்கும்; இத்தகைய அணு உலை உற்பத்தி அணு உலை என்று அழைக்கத் தக்கதாகும்; 3. மறு உற்பத்தி செய்யப்பட்ட பிளவுப் பொருள் உட்கொள்ளப்பட்ட பிளவுப் பொருளை விட அதிகமாக இருக்கும் நிலையில், அணு உலை அதிஉற்பத்தி அணு உலை என்று அழைக்கப்படும். இந்த மூன்றாவது வகை உற்பத்தி அணு உலை நடைமுறைக்கு மிகவும் உகந்ததாகும்.

இயற்கைப் பிளவுப் பொருளான யூரேனியம் -235 கிடைக்காத நிலையில் விரைவு உற்பத்தி அணு உலைகள் வருங்காலத்தில் அணு உலைத் தொழில் நுட்பத்தில் முக்கியப் பங்கு வகிக்கும்.

534 வைசாகரின் நிறைக் கோவை (Weizsacker's mass formula)

புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்கள் ஆகிய கருத்துகள்களின் பிணைப்பே ஒரு முழுக் கருவாகும். இதில் புரோட்டான், நியூட்ரான்களின் மொத்த நிறை, அவற்றாலான முழுக் கருவின் நிறையைவிடச் சிறிது அதிகமாகும். இந்நிறைக் குறைவே (mass defect) கருத்துகள்களைப் பிணைப்பதற்குத் தேவையான ஆற்றலாகப் பயன்படுகிறது. இப் பிணைப்பாற்றலை

$$B = ZM_p + (A-Z)\,M_n - M(Z,A)$$

என்று குறிக்கலாம். இதில் M_p என்பது ஒரு புரோட்டானின் நிறை; M_n ஒரு நியூட்ரானின் நிறை; M என்பது Z புரோட்டான்களும் (A-Z) நியூட்ரான்களும் கொண்ட முழுக் கருவின் நிறை. A என்பது நிறை எண். ஓர் அணுக் கருவை திரவத்துளிக்கு ஒப்பிட்டு பெறப்படும் திரவத்துளி மாதிரி அமைப்பை (liquid drop model) கொண்டு கருவின்

பிணைப்பாற்றலுக்கான கோவையைப் பெறலாம். இது பரும ஆற்றல் தொடர் (volume energy term), பரப்பாற்றல் தொடர் (surface energy term), கூலும் ஆற்றல் தொடர் (Coulomb energy term), எதிர்ச் சீர் ஆற்றல் தொடர் (asymmetry energy term), இணையாக்கல் ஆற்றல் தொடர் (pairing energy term) ஆகியவற்றைக் கொண்டது. இவை

$$B = a_1A - a_2A^{2/3} - a_3Z^2A^{-1/3} - a_4\frac{(A-2Z)^2}{A} \pm a_5A^{-3/4}$$ என எழுதப்படுகிறது.

இதில் a_1 முதல் a_5 வரை உள்ளவை மாறிலிகளாகும். எனவே, அணுக்கருவின் நிறையைப் பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$M(Z, A) = ZM_p + (A - Z)M_n - a_1A + a_2A^{2/3} + a_3Z^2A^{-1/3} + a_4\frac{(A-2Z)^2}{A} \pm a_5A^{-3/4}.$$

முதன்முதலில் வைசாகர் என்பவர் இக் கோவையைத் தருவித்ததால் இது வைசாகரின் நிறைக் கோவை எனப்படுகிறது.

535 ஸ்டார்க் விளைவு (Stark effect)

ஒரு பொருள் புற மின்புலத்திற்கு உட்படுத்தப்படும்போது அதன் நிறமாலை வரிகள் (spectral lines) பிரிக்கப்படுவதே (splitting) ஸ்டார்க் விளைவு எனப்படும். இவ்விளைவைத் தோற்றுவிக்க மிக அதிக மின்புலம் தேவைப்படும். இவ்விளைவு மிகவும் நுண்ணியதாக இருப்பதால் அதிக பகுதிறன் (resolving power) கொண்ட கருவிகளால்தான் இதைக் காணமுடியும். எடுத்துக்காட்டாக, ஹைட்ரஜன் நிறமாலை வரிகள் சமச்சீராக பிரிக்கப்படுகின்றன. இவ்வரிகளின் அமைப்பு அந்த வரிகளோடு தொடர்புள்ள குவாண்டம் எண்ணைப் (n) பொருத்தது. குவாண்டம் எண் அதிகமானால் வரிகளின் எண்ணிக்கையும் வரிகளுக்கிடைத் தொலைவும் அதிகமாகும். எனவேதான் H_β வரிகளின் கூறுகள் (components), H_α வரிகளின் கூறுகளைவிட அதிகமாகும்.

536 ஹேட்ரான்கள் (Hadrons)

ஹேட்ரான்கள் அடிப்படைத் துகள்களில் ஒரு பிரிவாகும். விசையின் அடிப்படையில் துகள்களைப் பிரிக்கும்போது, மிக வலிமை வாய்ந்த அணுக்கரு விசைக்குள்ளாகும் துகள்களை ஹேட்ரான்கள் என்கிறோம். மேலும் நிறையின் அடிப்படையில் பார்க்கும்போது, இடைநிலைப்பட்ட நிறையுள்ள துகள்களான மெசான்களும், அதிக நிறையுள்ள பேரியான்களும் அணுக்கரு விசைக்குள்ளாகும் துகள்களாகும். இவையிரண்டும் பொதுவாக ஹேட்ரான்கள் என அழைக்கப் பெறுகின்றன. அணுக்கரு விசையன்றி மற்ற விசைகளிலும் இவை பங்கேற்கின்றன. ஹேட்ரான்களின் ஒரு பகுதியான மெசான்களில், π–மெசான், k-மெசான் மற்றும் η–மெசான்கள் அடங்கும். இவற்றின் தற்சுழற்சி எண் மதிப்பு சுழியாக அமைவதால் இவையாவும் போசான்களாகும். ஹேட்ரான்களின் மற்றொரு பகுதியான பேரியான்களில், நியூக்கிளியான்களும் மற்றும் ஹைப்பரான்களும் அடங்கும். இவற்றின் தற்சுழற்சி அரை எண் மதிப்பு உடையதாக இருப்பதால் இவை யாவும் பெர்மியான்களாகும்.

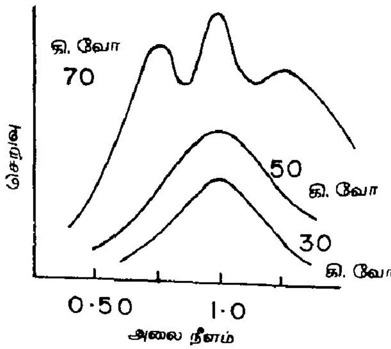
537 ஹைட்ரஜன் குண்டு (Hydrogen bomb)

அணுக்கருப் பிளவையை அடிப்படையாகக் கொண்ட அணுகுண்டின் ஆற்றலை விடப் பல ஆயிரம் மடங்கு அதிக ஆற்றல் வாய்ந்தது ஹைட்ரஜன் குண்டு. இதன் அடிப்படைத் தத்துவம் அணுக்கருப்பிணைவாகும். அணுக்கருப்பிணைவில், நிறைஎண் குறைந்த அணுக்கருக்கள் சேர்ந்திணையும்போது மிகுந்த ஆற்றல் வெளியிடப்படுகின்றது. ஆனால், இச்சேர்க்கை நிகழ மிக அதிக வெப்ப நிலையும் அழுத்தமும் தேவைப்படுகின்றது. அதனால் ஹைட்ரஜன் குண்டை வெடிப்பதற்கு, ஒரு முன்னோடியாக

அணுகுண்டு வெடிப்பின்போது ஏற்படும் வெப்பமும் அழுத்தமும் அணுக்கருச் சேர்க்கைக்கு ஏதுவாகி ஹைட்ரஜன் குண்டு வெடிப்பிற்கு வழி செய்கின்றது. உலகின் முதல் ஹைட்ரஜன் குண்டான 'மைக்' 1952 ஆம் ஆண்டு அமெரிக்காவில் வெடித்துச் சோதனையிடப்பட்டது. அதன் ஆற்றல் 3 மில்லியன் டன் டி. என். டி. வெடி மருந்திற் கிணையானது. ஹைட்ரஜன் குண்டில், ஹைட்ரஜனின் ஐசோடோப்புகளான டியுட்டீரியமும், டிரைடியமும் எரிபொருளாகப் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. அதனால் இந்தக் குண்டின் மூலம் கதிரியக்க அபாயம் கிடையாது. அணுகுண்டை ஒரு முன்னோடியாகப் பயன்படுத்தாமல், ஏதாவது வேதியல் வினைகளின் மூலம் தேவையான வெப்பத்தைப் பெற்று, ஹைட்ரஜன் குண்டை வெடிக்கச் செய்தால், அது ஒரு கதிரியக்கமற்ற தூய்மையான வெடி குண்டாக அமையும்.

538 X-கதிர் மாலைகள் (X - ray spectra)

1895 ஆம் ஆண்டு X-கதிர்களை ராண்ஜன் (Roentgen) என்ற அறிவியலறிஞர் கண்டுபிடித்தார் என்பதை அறிவோம். X-கதிர்க் குழாயில், ஒரே நேர்மின்வாயைப் பயன்படுத்தி பல்வேறு மின்னழுத்த வேறுபாடுகளுக்கு, வெளிவரும் X-கதிர்களை யுரேயும் (Uray) அவரது நண்பர்களும் ஆய்ந்தறிந்தனர். X-கதிர்களின் செறிவிற்கும் (intensity) அலை நீளத்திற்கும் வரைபடம் வரைந்ததில், குறைந்த மின்னழுத்த வேறுபாடுகளுக்கு (சுமார் 30, 40, 50 கிலோ வோல்ட்) தொடர் வரியும் (continuous line) 70 கிலோ வோல்ட்டுக்கு முழுமையாகத் தொடர் வரியாக இல்லாமல் ஓரிரு உச்சிகளும் (peaks) இருந்தன. இவ்வுச்சிகள் வரி அல்லது தற்சிறப்புக் கதிர்வீச்சை (line or characteristic radiation) குறிக்கும். 70 கிலோ வோல்ட்டுக்குக் கீழ் கிடைக்கும் தொடர் வரிகள், தொடர் X-கதிர் நிறமாலைகள் (continuous X - ray spectra) என்றும், அதற்கு மேல் கிடைக்கும் X-கதிர்கள் பண்பு X– கதிர் நிறமாலை (Characteristic X - rayspectra) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. ஒவ்வொரு தனிமத்தையும் X-கதிர்க் குழாயில் நேர் மின்வாயாகக் கொண்டு, அதன்மீது அதிகத் திசைவேகங் கொண்ட எலக்ட்ரான்களை மோதச் செய்தால் ஒரு குறிப்பிட்ட மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்குமேல் தற்சிறப்பு X-கதிர்கள் கிடைக்கும். இந்நிகழ்ச்சி தோன்ற வெவ்வேறு மின்னழுத்த வேறுபாடுகள் தேவையாகும். எடுத்துக்காட்டாக, 35 கி. வோ. மின்னழுத்த வேறுபாடு இருந்தால்தான் மாலிப்டினம் (molybdenum) தற்சிறப்பு X-கதிர்களை வெளியிடும்.



ஒலியியல்

Acoustics

539 அதி உயர்வு ஒலியியல் (Hypersonics)

சுமார் 500 மெகா ஹெர்ட்ஸ் (MHz) க்கும் மேலான அதிர்வெண்கள் கொண்ட ஒலி அலைகளை எழுப்புவதையும் அதனைப் பயன்படுத்துவதையும் அதி உயர்வு ஒலியியல் என்பர். இந்த அதிர்வெண்கள் கொண்ட ஒலி அலைகள் நேர்முகமாக போனான் (phonon)களுடனும் (வெப்ப ஆற்றல் கொண்ட ஒலி அலைகள்), எலக்ட்ரான்கள் மற்றும் மின்துளை (holes)களுடனும் (மின்னாற்றல் மற்றும் வெப்ப ஆற்றல் ஒலி அலைகள்) மற்றும் பெரோகாந்தப் பொருட்களின் தற்சுழற்சி அலைகளுடனும் கலந்து செயல் விளைவுகளை ஏற்படுத்துகின்றன.

கேட்மியம் சல்பைடு அல்லது சிங்க் ஆக்ஸைடு போன்ற மென்படல ஆற்றல் மாற்றிகளின் உற்பத்தியினால் அதி உயர்வு ஒலியியலில் நல்ல முன்னேற்றம் ஏற்பட்டுள்ளது. ஒளியியல், வெப்பத்துடிப்பு மற்றும் மென்படல முறைகள் மூலம் எழுப்பப்படும் அதி உயர்வு ஒலி பல வகைகளில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, வெப்பத்துடிப்பு முறை, படிகங்களின் காப்பு, மற்றும் கடத்தும் திறன்களை அறியப் பயன்படுகிறது.

540 இசை ஒலியியல் (Musical acoustics)

ஒலியை இசையொலி, இரைச்சல் என இருவகைகளாகப் பிரிக்கலாம். இசையொலி தொடர்ச்சியாகவும், தெளிவாகவும், இனிமையாகவும் இருக்கும். ஓர் இசையொலியைப் பகுப்பாய்வு செய்தால், அதில் பல தனித்த இசைச் சுருதிகளிருப்பதைக் காணலாம். இசையொலிக்கு மூன்று முக்கிய பண்புகள் உள்ளன: அவை, சுருதி (pitch), செறிவு (intensity), சுரப்பண்பு (quality or timbre) சுருதி, ஒலியின் அதிர்வெண்ணைப் பொருத்தது. சுருதி அதிகமாக இருப்பின் ஒலி கூர்மையாகவும், குறைவாக இருப்பின் ஒலி தட்டையாகவும் இருக்கும். ஒலியின் செறிவு குரலெழுப்பும் பொருளின் துடிப்பின் வீச்சைப் பொருத்தது. பல்வேறு ஒலிகளைப் பகுத்தறிய உதவும் பண்பே சுரப்பண்பாகும். இது ஒலியெழுப்பும் பொருளின் இயல்பு, இயக்கத்தின் முறை, துடிப்பின் வகை ஆகியவற்றைப் பொருத்தது. இசைச் சுரங்களை ஏறு வரிசையிலோ அல்லது இறங்கு வரிசையிலோ ஒலித்தால் காதில் இனிய உணர்வு உண்டாகிறது. இசைக்குத் தேவைப்படும் மூன்று முக்கிய பண்புகள் இலய இசைவு (rhythm), ஒழுங்கிசை (melody), ஒருங்கிசை (harmony). இலய இசை ஒலிகளுக்கிடையேயுள்ள கால அளவையும், ஒழுங்கிசை சுருதியின் ஏற்றத்தாழ்வையும், ஒருங்கிசை பல ஒலிகள் சேரும்போது உண்டாகும் இனிய உணர்ச்சியையும் குறிக்கும். ஒருங்கிசையை முக்கியமாகக் கொண்டு மேனாட்டு இசையும், ஒழுங்கிசையை முக்கியமாகக் கொண்டு நமது கர்நாடக இசையும் அமைந்துள்ளன.

541 இரண்டாம் ஒலி (Second sound)

மீபாய் நிலையில் இருக்கும் திரவ ஹீலியம் II போன்ற பொருட்களால் பரவும் வெப்ப அலை அல்லது என்ட்ராபி அலை இரண்டாம் ஒலி எனப்படுகிறது. இதற்கும் இயல்பான ஒலி அலைக்கும் எவ்விதத் தொடர்பும் இல்லை. இயல்பான ஒலி அலை ஓர் ஊடகத்தில் பரவும்போது அழுத்தம் மற்றும் அடர்த்தி மாற்றங்கள் ஏற்படுகின்றன. ஆனால் இரண்டாம் அலை பரவும்போது அழுத்தமும் மாறாமல் வெப்ப மாற்றம் மட்டும் ஏற்படுகிறது. ஹீலியம் - II-இன் இரட்டைப் பாய்ம மாதிரி (two fluid model) நாம் இரண்டாம் ஒலியின் தன்மையை ஆழமாய் அறிய உதவுகிறது.

குறிப்பிட்ட நிலைகளில், சில திண்ம மின்காப்புப் படிகங்களில் இரண்டாம் ஒலி பரவுகின்றது என்னும் கருத்து, 0.4K முதல் 1K வரையிலான வெப்ப நிலையில் திண்ம ஹீலிய தனிப் படிகங்களில் செய்யப்பட்ட சோதனைகள் மூலம் நிரூபிக்கப்பட்டுள்ளது.

சில திரவப்படிகங்களிலும் இரண்டாம் ஒலி பரவுகிறது என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

542 இருசெவி ஒலி (Binaural sound)

ஒலி எழுப்பப்படும்பொழுது இரண்டு வழித்தடங்களாகப் பிரிக்கப்பட்டு பின் அவை ஒலிப்பானுக்கோ அல்லது செவி ஒலிப்பானுக்கோ செலுத்தப்படுமானால் கேட்பவருக்கு ஒலி ஒரே திசையில் இருந்து வருவதாகத் தோன்றும். ஒரு சீர்மை நிலையில் இரு செவி ஒலி செலுத்துகை (transmission) முறைமையில் ஒலி அலைகள் ஒரே சீரான வீச்சும் கட்டமும் (amplitude and phase) கொண்டு கேட்பவரின் காதுகளுக்குச் சென்று அடைகிறது. இரு செவி ஒலி முறைமையில் ஒலி மிகச் சரியாக வழிப்படுத்தப்பட்டுள்ளதால் கேட்பவர்களின் காதுக்கு உண்மையான ஒலி எது, வழிப்படுத்தப்பட்டுள்ள ஒலி எது என்ற வேறுபாடு தெரிவதில்லை.

543 இரைச்சல் (noise)

இரைச்சல் ஒலி தெளிவின்றியும், வெறுப்பூட்டக் கூடியதாகவும் இருக்கும். உரத்த கூச்சல், இடி ஒலி, வண்டிகளின் கடகட ஒலி, காய்ந்த இலைகளில் தோன்றும் ஒலி, சுத்தியால் அடிக்கும்போது தோன்றும் ஒலி யாவும் இரைச்சலில் அடங்கும். இவை சீரற்ற, தொடர்பற்ற அதிர்வினால் தோன்றுபவை. இவை குறிப்பிட்ட அலைவு நேரம், குறிப்பிட்ட வீச்சுக கொண்டவையல்ல; சீரற்ற, சிக்கலான பண்பு கொண்டவை. உரப்பு (loudness) அளவிடப்படும் அலகிலேயே இரைச்சலும் அளவிடப்படுகிறது. தொழில் துறையில் தோன்றியுள்ள பலவகைப்பட்ட எந்திரங்களாலும், போக்குவரத்து ஊர்திகளாலும் இரைச்சல் உலகெங்கும் அதிகரித்துக் கொண்டே வருகிறது. இந்த இரைச்சலால் மக்களுக்குப் பல ஊறுகள் தோன்றுகின்றன. மிகுந்த இரைச்சலால் கேள்வித்திறன் குறையும்; நரம்பு மண்டலம் பலவீனமடையும்; மூளை அயர்வும், எரிச்சலும் ஏற்படும்; கவனக்குறைவு ஏற்பட்டு, வேலைத்திறன் குறையும்; குழந்தைகளின் வளர்ச்சியைக்கூடக் குறைக்கும். ஒலி உட்கவர் பொருட்களையும், ஒலிக்காப்புப் பொருட்களையும் பயன்படுத்தி இரைச்சலைக் கட்டுப்படுத்தலாம். ஒலி வடிப்பான் (filter), இரைச்சல் குறைப்பான் (silencer) ஆகியவற்றையும் பயன்படுத்திக் குறைக்கலாம்.

544 உரப்பு (Loudness)

ஒலிகளின் (இசை, ஓசை மற்றும் இரைச்சல்) சிறப்பியல்பே உரப்பு எனப்படும். இது செவிப் பறையில் ஒலியலை உண்டாக்கப்படும் அளவினைக் குறிக்கும்.

ஒலி விரையும் திசைக்குச் செங்குத்தாக ஓரலகு பரப்பில் ஓரலகு நேரத்திற்குக் கடந்து செல்லும் ஆற்றலின் அளவை ஒலியின் செறிவு என்பர். ஒலியின் செறிவு அந்த ஒலி அலையின் வீச்சின் இரு மடிக்கு நேர் தகவில் இருக்கும். உரப்பு ஒலி செறிவினைச் சார்ந்து இருக்கும். மேலும் உரப்பானது ஒலியலையின் வீச்சு, ஒலிக்கும் பொருளின் உருவ அளவு, ஒலி மூலம் உள்ள தொலைவு மற்றும் ஊடகத்தின் அடர்த்தியினைச் சார்ந்தும் இருக்கும்.

545 எண்மம் (Octave)

இரு சுரங்களின் தகவு 1:1 அல்லது 1:2 என இருக்கும்போது மிகுந்த ஒத்திசைவு உண்டாகும். 1:2 என்னும் தகவிலுள்ள அதிர்வெண்களின் நெடுக்கம் (range) எண்மம் எனப்படும். ஓர் எண்மத்திலுள்ள வெவ்வேறு அதிர்வெண் கொண்ட சுரங்களே இசைச்சுர வரிசையைக் குறிக்கும். இசசுர வரிசையில் அடிப்படைச் சுரத்திலிருந்து மேற்சுரம் வரை எட்டுச் சுரத் தானங்கள் உள்ளன. அவை Doh, Ray, Me, Fah, Soh, Lah, Te, Doh என வழங்கபபடுகின்றன. ஹெல்ம்ஹோல்ட்சு குறியீட்டு முறையில் அவை C, D, E, F, G, A, B, C'

என்னும் எழுத்துக்களால் குறிக்கப்படும். கர்நாடக இசையில் இவற்றை ஸ, ரி, க, ம, ப, த, நி, ஸா என்னும் எழுத்துக்களால் குறிப்பிடுகிறோம். முதல் வரிசையில் இச்சுரத்தானங்களின் அதிர்வெண்கள் 256, 288, 320, 341.3, 384, 426.7, 480, 512 ஆகும். ஒரு முழுச் சுர வரிசையில் ஏழு இடைவெளிகள் உள்ளன. ஒரு சுரத்தானத்திற்கும், மற்றொரு சுரத்தானத்திற்கும் உள்ள இடைவெளியை, அதிகச் சுருதியுள்ள ஒலியின் அதிர்வெண்ணைக் குறைந்த சுருதியுள்ள ஒலியின் அதிர்வெண்ணால் வகுத்துப் பின்னத்தால் குறிப்பிடுவது வழக்கம்.

546 **எதிர் முழக்கம்** (Reverberation)

தடையேதும் இல்லாது வெட்டவெளியில் ஓர் இடத்தில் ஒலி எழுப்பப்பட்டால், கேட்பவர் அதை மட்டும் நேரடியாகக் கேட்கிறார். ஆனால் ஓர் அரங்கில் ஒலி எழுப்பப்பட்டால், அதனோடு சுவர், கூரை போன்றவற்றால் எதிரொலித்த ஒலியையும் சேர்த்துத்தான் கேட்கிறார். ஒலிமூலத்திலிருந்து நேரடியாகக் கேட்கப்படும் ஒலிக்கும், எதிரொலித்து வருகின்ற ஒலிக்குமிடையே சிறிது கால இடைவெளி இருக்கும். இதனால், நேரடி ஒலி நின்ற பிறகும் சிறிது நேரத்திற்கு ஒலி கேட்டுக்கொண்டிருக்கும். இதனை எதிர் முழக்கம் என்கிறோம். தொடக்க நேரடி ஒலியும், எதிரொலித்த ஒலியும் உணர் எல்லைக்குக் கீழ் குறைவதற்கு ஆகும் இடைவெளி நேரம் எதிர்முழக்க நேரம் ஆகும். இது மிகக் குறைந்தும் மிகுந்தும் இல்லாமல் அளவோடு (optimum) இருக்கவேண்டும். மெல்லிசைக்கும், பேச்சொலிக்கும் குறைந்த எதிர் முழக்க நேரமும், கருவி இசைக்கு அதிக எதிர்முழக்க நேரமும் விரும்பத்தக்கது. இது அரங்கின் அளவையும், சுவர் மற்றும் கூரை ஆகியவற்றின் எதிரொலிப்புத் தன்மையையும், பரப்பளவையும் சார்ந்ததாகும். ஒலி கேட்க முடியாத நிலையை அடைவதற்குள் சுமார் 250 பிரதிபலிப்புகள் நிகழ்வதாகக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. அரங்குகளில் எதிர்முழக்கத்தின் மிகையையோ அல்லது குறைபாட்டையோ ஈடு செய்யத் தகுந்த எதிர்முழக்கத்தைத் தணிக்கும் பொருட்களைப் பயன்படுத்த வேண்டும். அவை ஒலியைக் குறைவாக எதிரொலித்து, மிகுதியாக உட்கவர வேண்டும். உட்கவரும் பொருட்களான தக்கை, நெட்டி, செலோடெக்ஸ், அஸ்பெஸ்டாஸ் முதலிய நுண்துளையுள்ள ஓடுகளையும், சாந்துகளையும் தக்கமுறையில் தயார்செய்து போதுமான அளவு பயன்படுத்தி எதிர்முழக்கத்தைக் கட்டடத்தில் கட்டுப்படுத்தலாம்.

547 **எதிரொலிப்பு எண்** (Acoustic reflectivity)

பரப்பு ஒன்றினால் திருப்புவிக்கப்பட்ட ஒலியின் ஆற்றலுக்கும் அப்பரப்பின்மீது பட்ட ஒலியின் மொத்த ஆற்றலுக்கும் இடையே உள்ள தகவு அப்பரப்பின் 'எதிரொலிப்பு எண்' எனப்படும். இவ்வெண், பரப்பிலிருந்து வெளியேறும் ஒலியின் செறிவுக்கும் பரப்பினில் மோதிய ஒலியின் செறிவுக்கும் இடையே உள்ள தகவிற்குச் சமம். இது பரப்பினில் ஒலிபட்ட படுகோணத்தையும் அப்பரப்பின் ஒலியியல் பண்பையும் சார்ந்தது. குறிப்பாக ஒலியின் அலைநீளத்தை இவ்வெண் சார்ந்தது எனலாம்.

548 **ஒத்ததிர்வி** (Resonator)

துகள்களின் அதிர்வால் ஒலி உண்டாகிறது. அதிரும் துகள்களுக்கு உதவியாக, அவற்றின் அலையைக் காக்க ஏற்றப்படும் புற விசையின் அதிர்வெண்ணைச் சிறுகச் சிறுக அதிகரித்தால், திணிப்பு அலைவு இயக்கத்தின் வீச்சும் அதிகரித்துத் துகள்களின் ஆற்றலும் அதிகரிக்கும். துகள்களின் அதிர்வெண்ணும், புற விசையின் அதிர்வெண்ணும் ஒன்றுக்கொன்று சமமாகும்போது, இயக்கத்தின் வீச்சு பெருமநிலையை அடைந்து ஒத்ததிர்வை (resonance) உண்டாக்கும். இதனால் வெளிவரும் ஒலியின் ஆற்றல் உச்சநிலையில் இருக்கும். புற விசையின் அதிர்வெண் சிறிது மாறுபட்டாலும் ஒத்ததிர்வு பாதிக்கப்படும். ஒத்ததிர்வை உண்டாக்கும் கருவிக்கு ஒத்ததிர்வி என்று பெயர். பொதுவாக ஒத்ததிர்வி என்பது இயல்பான அதிர்வெண் கொண்ட வாயுத் தம்பமேயாகும். பெரிதும்

உபயோகத்திலுள்ள ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் ஒத்ததிர்வியில் உள்ள காற்றுப் பருமனை மாற்றி, அதனால் அக்காற்றுப் பகுதியின் இயல்பு அதிர்வெண், இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணுக்குச் சமமாகும்போது ஒத்ததிர்வு உண்டாகிறது. ஒத்ததிர்வினால் உரத்த ஒலி உண்டாகிறது.

549 **ஒத்திசைதல்** (Consonance)

இரண்டோ அல்லது அதற்கும் மேற்பட்டோ சுரங்கள் கூட்டாகச் சேர்ந்து ஒலிக்கப்பட்டால் அவை ஒன்று சேர்வதே இசை ஆகும். அது காதிற்கு இனிமையான விளைவினை ஏற்படுத்தினால், அதனை ஒத்திசைதல் என்பர்.

இரு சுரங்களின் அதிர்வெண்களின் தகவும் ஒரு சிறு எண் கொண்ட பின்னமாகும். இந்த எண்களின் மதிப்பு மிகக் குறைவாக இருப்பின் இனிமை விளைவு மிகவும் அதிகமாக இருக்கும். இரு சுரங்களின் ஒத்திசைவினை ஒரே சமயத்தில் உண்டாக்கினால் அதனைச் சீரிசை என்பர். அதிர்வெண்களின் தகவும் சிறு பின்னமாக இருந்தால் மட்டுமே ஒத்திசை எழுகிறது என்ற அறிஞர் பிதகோரசின் (Phythagoras) கருத்துக்கு ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் (Helmholtz) பின்னர் விளக்கம் அளித்தார்.

550 **ஒரே மாதிரியான ஒலி விளைவு** (Stereo effect)

இது ஓரிடத்தில் ஏற்படும் ஒலி அது தோன்றும் தொலைவினைப் பொருத்து உண்மை வெளியில் எங்ஙனம் நம் காதுகளால் கேட்கப்படுகின்றதோ அதேபோன்ற விளைவை ஏற்படுத்தப் பயன்படுத்தபடும் ஒலிப்பதிவு அல்லது ஒலி பரப்பு முறையைக் குறிக்கும். இதில் இரண்டு அல்லது நான்கு ஒலி வாங்கிகள் (microphones) பயன்படுத்தப்பட்டு கேட்கும் அறையில் அவற்றிற்குரிய ஒலிப்பான்களுடன் (speakers) இணைக்கப்பட்டிருக்கும்.

ஸ்டீரியோ விளைவு ஏற்படுத்த, ஒலிவாங்கிகள் ஒன்றோடொன்று ஒன்றும் முறை, விலகி தொலைவில் அமையும் முறை, தனித்தனி இசைக்கருவிகளுக்கான ஒலிவாங்கி முறை, ஆகிய மூன்று உத்திகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. சில சமயங்களில் இம்மூன்று முறைகளும் சேர்த்துப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஒன்றும் முறையில் இரண்டு ஒலிவாங்கிகள் மிக அருகில் ஒரே பெட்டியில் வைக்கப்பட்டிருக்கும். பெரிய குழும இசைக்கு தொலைவில் அமையும் முறை பயன்படுத்தப்படுகிறது. தற்காலத்தில் ஒவ்வொரு இசைக் கருவிக்கும் அருகில் ஒரு ஒலிவாங்கி வைக்கப்பட்டு, இரண்டு ஸ்டீரியோ சானல்களில் ஒலிவாங்கியின் வெளியீட்டைத் தகுந்த முறையில் சேர்த்து தேவையான ஸ்டீரியோ விளைவு ஏற்படுத்தப்படுகிறது.

551 **ஒலியியல்** (Acoustics)

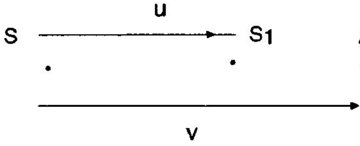
மீட்சியல் பண்புள்ள ஊடகப் பொருட்களின் அதிர்வுகளை விளக்குவது அல்லது ஒலியியல் ஆகும். செவியில் தோன்றும் உணர்வுகளைப் பற்றி மட்டும் தொடக்கத்தில் கூறிவந்த ஒலியியல், தற்போது கேளாஒலி பற்றியும் நில அதிர்வுகளால் ஏற்படும் மாற்றங்கள் குறித்தும் கூட அறியப் பயன்படுகிறது. ஒலியியலை ஒலி உண்டாக்குதல், பரப்புதல், உணர்தல் என மூன்று பகுதிகளாகப் பிரிக்கலாம். மீட்சியல் பண்புள்ள ஊடகம் ஒன்றில் உள்ளார்ந்த அதிர்வுகளைத் தோற்றுவிக்கும் அழுத்தம் அல்லது தகைபு ஒலியை உண்டாக்க வல்லது. நாம் பேசுதல் இதற்கு ஓர் எடுத்துக்காட்டு. ஊடகம் ஒன்றின் வழியே அலையியககம் மூலமாக ஒலி பரவுகிறது. ஊடகத்தில் உள்ள துகள்களின் அதிர்வு சைன் வளைகோடு வடிவில் இருக்கும். தகுந்த ஆற்றல்மாற்று நுண்ணமைப்புக் கொண்டு ஒலியை உணரலாம். நமது செவி 10 வாட் சதுர செண்டி மீட்டர் வரை குறைந்த ஒலி ஆற்றலை

உணரக்கூடிய ஒரு நுண்ணமைப்பாகும். மைக்ரோபோன், ஒலிப்பான் போன்றவை ஒலி சார்ந்த ஆற்றல் மாற்றும் நுண்ணமைப்புகளாகும்.

552 ஒலியியலில் டாப்ளர் விளைவு (Doppler effect in sound)

ஒலி மூலத்திற்கும் கேட்பவருக்கும் இடையே சார்புத் திசை வேகம் இருக்குமானால், ஒலியின் அதிர்வெண்ணில் மாறுதல் ஏற்படுவது போலத் தோன்றும். இவ்விளைவினை டாப்ளர் விளைவு என்பர்.

அதிர்வெண் N கொண்ட ஒலியைத் தோற்றுவிக்கும் ஒலிமூலம் S–லிருந்து புறப்பட்டு கேட்பவரை நோக்கி U என்ற திசைவேகத்தில் நகர்வதாகக் கொள்வோம். V என்பது ஒலியின் திசைவேகம். ஒலி மூலம் S–ல் ஒரு ஒலிஅலை தோன்றி ஒரு வினாடியில் இவ்வலை A–யை அடைவதாகக் கொண்டால், SA = V அதே சமயம் ஒலி மூலம் U தூரம் நகர்ந்து S_1–ஐ அடைகிறது. ஆகவே ஒலி மூலம் S_1–ல் இருக்கும்போது N-ஆவது ஒலிஅலை தோன்றுகிறது. எனவே $S_1A (= v-u)$ தூரத்தில் N அலைகள் அமைந்திருக்கும். ஆகவே தோற்ற அலைநீளம் $\lambda = (v-u)/N$. V தொலைவில் உள்ள எல்லா அலைகளையும் கேட்பவர் ஒரு வினாடியில் உணர்வார். இவ்வலைகளை $(v/\lambda) = (v/(v-u))\,N$ எனலாம். ஒரு வினாடியில் கேட்பவரால் உணரப்படும் அலைகளை தோற்ற அதிர்வெண் என்பர்.



$$\text{தோற்ற அதிர்வெண் } N_1 = \left(\frac{v}{v-u}\right) N.$$

இச்சமன்பாட்டிலிருந்து, ஒலிமூலம் கேட்பவரை நோக்கி நகரும் போது, அதிர்வெண் அதிகமாகிறது, ஒலி மூலம் கேட்பவரை விட்டு விலகி நகரும்போது அதிர்வெண் குறைகிறது, என்பதை அறியலாம்.

553 ஒலி அதிர்வெண் மாலை (Sound spectrum)

இது அதிர்வெண்ணைச சார்ந்து ஒலிச் செறிவு ,(intensity) மாறுபடுவதைக் குறிக்கும் வரைபடமாகும். பொதுவாக அதிர்வெண்ணை X-அச்சிலும், ஒலி அழுத்த மட்டத்தை Y-அச்சிலு ம் வைத்து இது வரையப்படுகிறது. ஓரிடத்தில் தோன்றும் இரைச்சல் தொடர் ஒலி அதிர்வெண்மாலையைப் பெற்றிருக்கும். வானொலி, தொலைபேசி போன்ற கருவிகளில் இத்தகைய இரைச்சல் தோன்றும். தேவையான இடங்களில் இரைச்சலைக் குறைக்கவும், கட்டுப்படுத்தவும் அல்லது முழுமையாக நீக்கவும் இவ்வரைவி பயன்படுகிறது. இவ்வரை படத்தின் துணைகொண்டு ஜெட் எஞ்சின்கள், தொழிற்சாலைகளிலுள்ள எந்திரங்கள் போன்றவை ஏற்படுத்தும் இரைச்சலை மட்டுப்படுத்தலாம்.

554 ஒலி ஆற்றல் (Acoustic energy)

மீட்சித் தன்மையும அடர்த்தியும் கொண்ட ஊடகங்கள் மட்டுமே ஒலியைக் கடத்த வல்லன. ஒலி பரவும்போது ஊடகத்தின் துகள்கள் சீரிசை இயக்கத்தில் அதிர்வதால ஊடகத்தின் இயக்க ஆற்றல் அதிகமாகிறது. அவ்வாறு அதிகமாகும் ஊடகத்தின் இயக்க ஆற்றலின் அளவு ஊடகத்தின் ஒலி ஆற்றலுக்குச் சமம் எனலாம். ஒலி ஆற்றலை, ஒலியின் செறிவைக் கொண்டு தெரிவு செய்யலாம். தனி இசைவியக்கத்திலிருக்கும் ஓரலகு பருமனுள்ள ஊடகம் ஒன்றின் பெரும இயக்க ஆற்றல் $2\pi^2 a^2 v^2 \rho$ ஆகும். இதில் a, துகளின் வீச்சு; v, அதிர்வெண்; ρ, ஊடகத்தின் அடர்த்தி. ஓரலகு குறுக்குப்பரப்பின் வழியே ஒரு

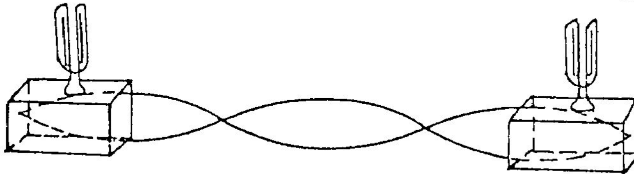
வினாடியில் (c திசைவேகத்தில்) கடத்தப்படும் ஒலி ஆற்றல் ஊடகத்தின் ஒலியின் செறிவு ஆகும். இது c நீளமும், ஒரு சதுர மீட்டர் குறுக்குப் பரப்புமுள்ள ஊடகத்தின் இயக்க ஆற்றல் ஆகும். அது $2\pi^2 a^2 v^2 \rho c$ க்குச் சமம். இதன் அலகு வாட்/சதுர மீட்டர்.

555 ஒலி இணைமாற்றுத் தேற்றம் (Acoustic reciprocity theorem)

இயற்பியல் அமைப்புகளின் செயற்பாட்டிற்கான இணைமாற்றுத் தொடர்புகளைப் பற்றி இத்தேற்றம் கூறுகிறது. மறுவிளைவு மாறாத ஏவலுக்கு ஓர் இயற்பியல் அமைப்பு உட்படும்போது, அதன் உள்ளீடு வெளியீடு இணை மாற்றுகள் பற்றி இங்கு கூறப்படுகிறது. மின்தடைகள், மின்ஏற்பிகள் போன்றவை அடங்கிய மின்சுற்றுகள் இணை மாற்று அடிப்படையில் செயற்படுபவை. வெற்றிடக் குழாய் வால்வுகள், டிரான்சிஸ்டர்கள் இக்கோட்பாட்டுக்கு உட்பட்டவை அல்ல. துவக்கத்தில் ராலே அவர்களால் ஒலியியலுக்கு கூறப்பட்ட இத்தேற்றம் பின்னர் மின்காந்த அலைகளுக்கும் பொருந்துமாறு கர்தன் என்பவரால் மாற்றி அமைக்கப்பட்டது. இதன் உட்பொருள் பின்வருமாறு ஹெல்ம்ஹோல்ட்சு அவர்களால் கூறப்பட்டது: 'ஊடகம் ஒன்றில், ஒரு புள்ளியில் ஓர் ஒலிமூலம் வைக்கப்பட்டு மற்றொரு புள்ளியில் தோற்றுவிக்கும் ஒலி அழுத்தமும், இரண்டாம் புள்ளியில் அதே ஒலிமூலம் வைக்கப்பட்டு அதனால் முதற்புள்ளியில் தோற்றுவிக்கப்படும் ஒலி அழுத்தமும் சமம்'.

556 ஒலி ஒத்ததிர்வு (Acoustic resonance)

ஒரு பொருளின் இயல்பான அதிர்வெண்ணும் அதன்மீது செயற்படும் விசையின் அதிர்வெண்ணும் ஒன்றாகும்போது, பொருள் பெருமவீச்சுடன் அதிர்கிறது. இந்நிகழ்ச்சி ஒத்ததிர்வு எனப்படும். ஒரே அதிர்வெண்ணுள்ள இரு இசைக் கவைகள் இரு ஒத்ததிர்வுப் பெட்டிகளின் மீது பொருத்தப்பட்டு அவற்றின் திறந்த முனைகள் ஒன்றையொன்று நோக்கியும் ஒரே நேர்கோட்டிலும் இருக்குமாறு வைக்கப் படுகின்றன. இரப்பர் சுத்தியலால் ஒரு கவை தட்டப்பட்டு அது அதிரவிடப்படுகிறது. சிறிது நேரத்தில் இரண்டாவது கவை தானாகவே பெருமவீச்சுடன் அதிர்வதைக் காணலாம். முதற்கவை அதிர்வதைத் தடுத்த போதும் இரண்டாவது கவை அதிர்வதைக் கேட்க இயலும். தடை நீங்கியபின் முதலாவது கவை மறு படியும் அதிரத் துவங்கு வதையும் காணலாம். போர் வீரர்கள் தொங்குபாலம்மீது சீர்நடையில் நடக்கும் போது அந்த நடையின் அதிர்வெண் பாலத்தின் அதிர்வெண்ணுக்குச் சமமானால் பாலம் ஊசலாடத் தொடங்கும். இந்த நிகழ்வைத் தடுக்க அவர்கள் பாலத்தின்மீது இயல்பாக நடந்து செல்லப் பணிக்கப் படுகிறார்கள்.



557 ஒலிக்கீற்றணி (Acoustic grating)

புறக்கேளா ஒலிகளின் (Ultrasonics) அலைநீளம், திசைவேகம் ஆகியவற்றைக் கண்டறிய ஒலிக்கீற்றணி பயன்படுகிறது. திண்மம் அல்லது பாய்மம் ஒன்றின் வழியே கேளா ஒலி செல்லும்போது அதில் அழுத்தக் கோடுகள் அடுத்தடுத்து உருவாகி அவ்வமைப்பு ஒலிக்கதிருக்குக் கீற்றணியாகச் செயல்படுகிறது. கேளா ஒலியால் கலத்தில் உள்ள நீர்மத்தில் சமதள அலைகள் உருவாக்கப்படுகின்றன. நீர்மத்தில் கணுக்கள், இடைக் கணுக்கள் ஆகியவை தோன்றுவதால் அது கீற்றணியாகச் செயல்படும். கேளா ஒலி செல்லும் திசைக்கு நேர்குத்தாக ஓர் இணை ஒளிக்கற்றை கலத்தின் வழியே அனுப்பப் படுகிறது. வெளிப்படும் ஒளிக்கதிர் தொலைநோக்கி கொண்டு ஆராயப்படுகிறது. நேர் கதிரின் இருபக்கமும் விளிம்பு விளைவுப் பெருமங்கள் தோன்றுகின்றன. இந்நிகழ்வில் d

$\sin \theta = n \lambda$ ஆகும். இதில் θ விளிம்பு விளைவு க்கோணம். λ ஒளியின் அலைநீளம், n பெருமத்தின் வரிசை எண், d கணுவிடைத் தொலைவு . மேலும்d என்பது κ(a/2)-க்கு சமம். புறக் கேளா ஒலியின் அலைநீளம் λa ஆகும்.

558 ஒலி நிறமாலை (Acoustic spectrum)

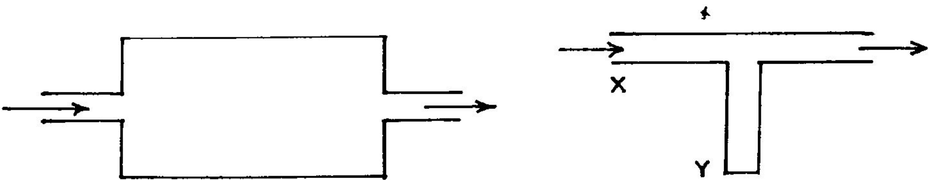
பொதுவாக நமது செவி உணரும் வரம்பிற்கேற்ப ஒலியை, செவி உணரும் ஒலி, செவி உணரா ஒலி என இரு வகைகளாகப் பிரிக்கப்படும். 20 முதல் 20,000 ஹெர்ட்சு வரை அதிர்வெண்களுள்ள ஒலிகளை நம் செவிகள் உணரும். 20 ஹெர்ட்சுக்கு குறைந்த அதிர்வெண்ணுள்ள ஒலி அகக் கேளா ஒலி என்றும், 20,000 ஹெர்ட்சுக்கு மேற்பட்ட அதிர்வெண்ணுள்ள ஒலி புறக் கேளா ஒலி என்றும் கூறப்படும். 10^{10} ஹெர்ட்சுக்கு மேல் அதிர்வெண்ணுள்ள ஒலி முரணிய ஒலி எனப்படும். நில அதிர்ச்சியில் வெளிப்படும் ஒலி அகக் கேளாஒலிப்பகுதியில் அடங்கும். வெளவால்களின் ஒலி புறக்கேளா ஒலிப்பகுதியில் அமையும்.

559 ஒலி முழக்கம் (Sonic boom)

இது மிகை ஒலி வேகத்தில் விண்ணில் பறக்கும் விமானத்தால் ஏற்படும் வலிய ஓசையாகும். அறை வெப்பநிலையில் ஒலியின் திசை வேகம் சுமார் 350 மீ/செ ஆகும். ஒரு விமானத்தின் வேகம் அதிகரித்து அது ஒலியின் திசை வேகத்தை நெருங்கும்போது, காற்றின் இழுப்பு ஆற்றல் விரைவில் அதிகமாகி, விமானத்தின் உயரே எழும்பும் திறமை குறைந்து அதன் கட்டுப்பாடு சீர்குலையும். மேலும் மிகை ஒலி வேகத்தில் செல்லும் விமானங்கள் அதிர்ச்சி அலைகள் (shock wavves) எனப்படும் நெருக்க அலைகளைத் (compressional waves) தோற்றுவிக்கும். இவ்வலைகள் வலிய ஒலியை ஏற்படுத்தும். இதற்கு ஒலி முழக்கம் எனப்பெயர். இவ்வொலி முழக்கம் விமானிக்குக் கெடுதல் விளைவிக்கும். இக்கெடுதல் விளைவுகள் ஏற்படாமல் இருக்க இப்போது விமானங்கள் தக்கவாறு வடிவமைக்கப் படுகின்றன.

560 ஒலி வடிப்பான்கள் (Acoustic filters)

தேவைப்படும் ஒலியைக் கூட்டொலி ஒன்றிலிருந்து தனியே பிரிக்க ஒலி வடிப்பான்கள் பயன்படுகின்றன. நடைமுறையிலுள்ள இரண்டு ஒலி வடிப்பான்களின் படங்கள் இங்கு தரப்பட்டுள்ளன. முதல் வடிப்பான் ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணை மட்டும் கடத்தவல்லது. இவ்வதிர்வெண் உருளைப் பகுதியிலுள்ள காற்றின் அதிர்வெண்ணுக்குச் சமம். இரண்டாவது வடிப்பான் குவிங்கி வடிப்பான் எனப்படும். இது குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணுள்ள ஒலியைப் பிரித்து மேற்செல்ல விடாமல் தடுத்து



விடுகிறது. X என்ற நேர் குழாயின் வழியே கூட்டொலி செல்லும்போது, Y என்ற பக்கக் குழாய் ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண் மற்றும் அதன் மேற்சுரங்களுடன் அதிர்கிறது. இவ்வதிர்வுகள் அனைத்தும் உட்கவரப் படுகின்றன. மூடப்பட்ட Y வடிவக் குழாயின் நீளம்

L என்றும், ஒலியின் திசைவேகம் c என்றும் கொண்டால், வடித்தெடுக்கப்படும் அதிர்வெண்கள் முறையே (c/4L) , (3c/4L) , (5c/4L) ,... ஆகும்.

561 **ஒலியின் பண்பு** (Quality of sound)

இரண்டு ஒலிகள் ஒரே சுருதி (pitch), ஒரே உரப்பு (loudness) உள்ளவையாயினும், அவை வெவ்வேறு ஒலிகள் என்று பகுத்து அறிவதற்கு உதவுவதுதான் ஒலிப்பண்பு. வெவ்வேறு இசைக் கருவிகளினின்றும் வரும் இசையொலிகளைச் எளிதாகப் பகுத்துணர முடிகிறதென்றால் அதற்கு முக்கிய காரணம் ஒவ்வோர் ஒலியின் தனிச் சுரப் பண்பேயாகும். ஒலி எழுப்பும் பொருளின் இயல்பு, இயக்கத்தின் முறை, துடிப்பின் வகை ஆகியவற்றைப் பொருத்து சுரப்பண்பு அமைகிறது. ஒலியில் உள்ள மேற்சுரங்களே ஒலிப்பண்புக்குக் காரணம். இயற்கையில் ஒவ்வொருவருக்கும் ஒவ்வொரு வகையான மேற்சுரங்கள் கொண்ட குரல் அமைந்துள்ளது. இப்பண்பால் நாம் பிற குரலை எளிதில் அடையாளம் கான்கிறோம்.

562 **கட்டிட ஒலியியல்** (Architectural Acoustics)

இசை, நாடக, பேச்சரங்குகளில் ஒலி உண்டாதல் மற்றும் பரவுதலைப் பற்றிக் கூறுவது கட்டிட ஒலியியலாகும். அரங்கு ஒன்றினுள் உண்டாக்கப்பட்ட ஒலியை ஒருவர் கேட்கும்போது, அது அவர் நேரடியாகக் கேட்ட ஒலியின் செறிவுமட்டும் அன்று. அது, அங்குள்ள சுவர்களின் பரப்புகளில் மோதி எதிரொலிக்கப்பட்டு இறுதியில் அவரை அடையும் ஒலியின் செறிவையும் பொறுத்ததாகும். சொரசொரப்பான சுவர்களின் பரப்புகள், பலகணிகள் இவற்றால் ஒலி உட்கவரப்படுவதால் அதன் செறிவு வளராமல் பொதுவாகக் குறையவே செய்கிறது. ஒலியின் செறிவு அது வெளியிடப்பட்ட அளவில் மில்லியனில் ஒரு பகுதிக்கு குறைய ஆகும் நேரம் எதிர்முழக்க நேரம் எனப்படும். இது பேச்சிற்கு 0.5 வினாடியும், இசைக்கு 2.5 வினாடியும் இருக்குமாறு அரங்குகளை அமைத்தல் சாலச் சிறந்தது. இதற்கு ஒலி உட்கவரும் பொருள்களைப் பயன்படுத்தலாம். பலகணிகளை அமைக்கலாம். அரங்கினுள் குறுக்கீட்டு விளைவு, விளிம்பு விளைவு எதிரொலி போன்றவை தவிர்க்கப்படுதல் மிகவும் அவசியம்.

563 **கூட்டோசை** (Combination tone)

ஒரே நேரத்தில் எழுப்பப்படும் இரு ஓசைகளின் ஒலி காதினை அடையும் போது சில நேரங்களில் முக்கிய ஒலியுடன் வேறு சில ஓசைகளும் கேட்கும். இந்த அதிகப்படியான ஓசைகளைத்தான் கூட்டோசை என்று கூறுவர். கூட்டோசை எழுப்ப வேண்டுமானால் இரண்டு முதன்மை (primary) ஓசைகள் உரப்பாகவும் நிலை குலையாமலும் இருத்தல் நலம். மேலும் கூட்டோசை எழுப்பும்போது அதிர்வெண்களின் தகவும் செவியுணர்திறனில் இருத்தல் வேண்டும். எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு ஹார்மோனியப் பெட்டியில், ஒரே மூலத்திலிருந்து இரண்டு சுரங்களை எழுப்பினால் கூட்டோசைகளை எளிதில் கண்டு கொள்ளலாம். அதோடு காற்றில் அதன் அதிர்வுகளையும் கணக்கிடலாம்.

564 **கேள் அதிர்வெண் நெடுக்கம்** (Audio frequency range)

20 முதல் 20,000 ஹெர்ட்சு வரையான எண்களுள்ள ஒலிகளை மட்டும் கேட்க இயலுமாறு நம் செவி அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இது கேள் அதிர்வெண் நெடுக்கம் எனப்படும். எனினும் வயதிற்கேற்ப செவியேற்கும் உச்ச வரம்பு மாறக் கூடியது. இருபது வயதுடையவர்கள் 20,000 ஹெர்ட்சு வரையிலும், முப்பத்தி ஐந்து வயதுடையவர்கள் 16,000 ஹெர்ட்சு வரையிலும், நாற்பத்தி ஏழு வயதுடையவர்கள் 13,000 ஹெர்ட்சு வரையிலும் கேட்க இயலும். வெளவாலின் கீச்சொலியை முதியவர்கள் கேட்க இயலாது. நமது கண்

பார்வைப் பகுதியில் ஒரு எண்மத்தை மட்டும் காண இயலும் போது, செவி கேள்வியின் வரம்பில் பதினொறு எண்மங்களைக் கேட்க இயலுகிறது.

565 கேள்திறன் அளவியல் (Audiometry)

கேள்திறமானியைக் (audiometer) கொண்டு ஒருவரின் செவியுணர் திறனை அளவிடும் முறையே கேள்திறன் அளவிடல் (audiometry) எனப்படுவது. செவியுணர்திறனில் மேல்மட்ட மற்றும் கீழ்மட்ட அளவுகள் கொண்ட அதிர்வெண்கள் (frequency) உண்டு. மூன்று வகையான செவியுணர்திறன் பரிசோதனைகள் செய்யப்படுகின்றன. தனிச் சுரம் (pure tone), பேச்சு (speech), மற்றும் செவி எலும்பின் ஒலி கடத்தும் திறன் (bone conduction) என்பனவாகும். தனிச்சுரக் கேள்திறமானி, தனி மனித செவியுணர்திறனை அளக்கப்பயன்படுகிறது. பேச்சுப் பரிசோதனைக்கு ஒலி நாடாப் பதிவீடுகள் (tape recorders) பயன்படுத்தப்படுகின்றன. செவி எலும்பின் ஒலி கடத்தும் திறனைக் கண்டறிய ஒருவரின் நெற்றியில் பொருத்தியுள்ள அதிர்வி மூலம் கேள்திறமானியில் ஒலி மாற்றத்தைத் தூண்டிவிடலாம். இறைச்சல் நிலையில் (noise condition) கேட்போர் அயர்ச்சியினைக் கண்டறிதல், கேள்விப் புலனை மேம்படுத்தும் பொறியமைவு மற்றும் தொடர்பு வழிகள் ஆகிய தொழில் நுட்பக் கலைகளைக் கண்டறிதல், தனி மனிதர்களின் காதுக் குறைபாடுகளைக் காணுதல், மற்றும் அக்காதுக் குறைபாடுகளைக் களைதல் ஆகியவற்றிற்கு இப்பரிசோதனைகள் பயன்படுகின்றன.

செவியுணர்திறனின் அளவைக் கண்டறிவதில் சிறும அளவு ஒலி எழுப்பும்போது அதனின் சீரிசை (harmonics) கேட்கும். சாவர்ட் (Sawart) மற்றும் ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் (Helmholtz) போன்ற அறிஞர்கள் கீழ்மட்ட அதிர்வெண்கள் அளவு முறையே 8 மற்றும் 27 எனக் கூறினர். கால்டன் ஊதல் (Galton's whistle) என்னும் கருவி செவியுணர் திறனுக்கு மேற்பட்ட அதிர்வெண்களை எழுப்பும் தன்மை கொண்டது.

566 சுரம் (Note)

எந்த ஒர் இசைக் கருவியின் ஒலியிலும் பல அதிர்வெண்களைக் கொண்ட சுரங்கள் அடங்கி இருக்கும். அதில் உரத்த குரலில் இருக்கும் சுரத்திற்கு மிகக் குறைந்த அதிர்வெண் இருக்கும். இதற்கு அடிப்படைச் சுரம் (fundamental note) என்று பெயர். அதே ஒலியிலடங்கியுள்ள வேறு அதிர்வெண்களுடைய மற்ற சுரங்களுக்கு மேற்சுரங்கள் (over tones) என்று பெயர். அடிப்படைச் சுரங்களின் முழு எண் மடங்கில் இருக்கும் சுரங்களைக் கிளைச்சுரங்கள் (harmonics) அல்லது சீரிசை என்கிறோம். Fourier தேற்றத்தைப் பயன்படுத்தி இசைச்சுரங்களை நுணுக்கமாகப் பகுப்பாய்வு செய்யலாம்.

567 சுருதி (Pitch)

இசையொலியின் முக்கிய மூன்று பண்புகளில் சுருதியும் ஒன்று (செறிவு, சுரப்பண்பு மற்ற இரு பண்புகள்). இது ஒலியின் அதிர்வெண்ணைப் பொருத்திருக்கும். ஒலி கூரியதாக இருப்பதற்கும், தட்டையாக அரைத்தொனியுடன் இருப்பதற்கும் சுருதிதான் காரணம். சுருதி அதிகமாக இருப்பின் ஒலி கூர்மையாகவும், குறைவாக இருப்பின் ஒலி தட்டையாகவும் இருக்கும். இரண்டு வேறுபட்ட அதிர்வெண்களைக் கொண்ட இரு இசைச்சுரங்களை, அவற்றின் செறிவு ஒரே அளவினதாக இருந்தாலும், பகுத்துணர உதவும் பண்பே சுருதி எனலாம். பொதுவாக ஆண் குரல் தட்டையாகவும், பெண் குரல் கூர்மையாகவும் இருப்பதற்குக் காரணம் அவற்றில் உள்ள வேறுபட்ட அதிர்வெண்களே. பெண் குரலின் அதிர்வெண் அதிகம். கொசு தோற்றுவிக்கும் ரீங்கார ஒலியின் அதிர்வெண் மிக அதிகமாக இருப்பதால் அதன் சுருதியும் உயர்ந்துள்ளது.

568 சீரிசை (Harmonics)

ஒரு சுரத்தின் இயல்புகளை அறிய, அவ்விசைச் சுரத்தின் அதிர்வுகளையோ அல்லது அதிர்வெண்களையோ வரி கண்ணோட்டத்தில் (scanning) கற்போமேயானால் அதனை சீரிசைப் பகுப்பாய்வு என்பர். ஓர் இசைக் கருவியை எடுத்துக் கொண்டு அதன் இசைச் சுரத்தினைப் பகுப்பாய்வு செய்தால் அதில் பல அதிர்வெண்கள் அடங்கியிருப்பது தெரியும். மிக அதிக உரப்புக் கொண்ட இசை குறைவான அதிர்வெண்களைக் கொண்டதாக இருக்கும். இக்குறைவான அதிர்வெண்ணை அடிப்படைச் சுரம் (fundamental) எனவும் மற்ற அதிக அளவுள்ள அதிர்வெண்களை மேற்சுரங்கள் எனவும் குறிப்பிடுவர். அடிப்படை அதிர்வெண்களின் முழு எண் கொண்ட மடங்குகளாக இருப்பின் அதனைச் சீரிசை என்பர்.

ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் என்ற அறிஞர் தன் ஆராய்ச்சியில் சுரங்களின் பண்பானது ஒத்திசைக்கும் (consonance) மேற்சுரங்களின் எண்ணிக்கைக்கும் தொடர்புள்ளது எனக் கூறினார்.

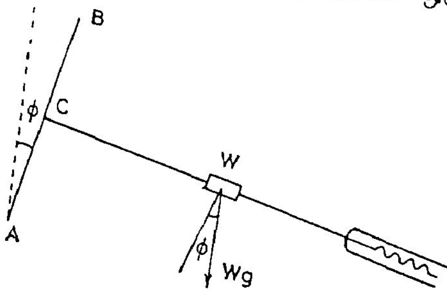
569 சோனார் (Sonar)

ஒலி அலைகளைச் செலுத்தி கடலின் தொலைவு காணல் எனப் பொருள் படும் "Sound Navigation And Ranging" என்னும் ஆங்கிலத் தொடரின் சுருக்கம் சோனார் எனப்படும் கருவியாகும். இக்கருவியில் மீயொலிகள் பயன்படுத்தப் படுகின்றன.

கடல் நீரில் மீயொலிகள் தோற்றுவிக்கப்பட்டு, கடலுக்கு அடியில் செலுத்தப் படுகின்றன. அவ்வொலி எதிரொலிக்கப் பட்டு திரும்பிப் பெற ஆகும் நேரத்தை அறிந்து கடலின் ஆழத்தைக் கணக்கிடலாம். கடல் மேற்பரப்பிலிருந்து நீர்மூழ்கிக் கப்பல் இருக்கும் தொலைவினையும், நீர்மூழ்கிக் கப்பலில் இருந்து கொண்டு கடல் மேல் தளத்தில் உள்ள கப்பல்களின் நிலையினையும், கடல் ஆழத்தில் உள்ள கண்களுக்குப் புலப்படாத பனிக்கட்டிப் பாறைகள் இருக்கும் இடங்களையும், மீன் கூட்டங்கள் மிகுதியாக வாழும் பகுதிகளையும், கவிழ்ந்த கப்பல்களின் உடைந்த பாகங்கள் இருக்கும் இடங்களையும் சோனார் கருவியைப் பயன்படுத்தித் தெரிந்து கொள்ளலாம். மேலும், விமானத்தில் பறந்து கொண்டே சோனார் கருவிமூலம் நீர்மூழ்கிக் கப்பல்கள் மற்றும் சுரங்கங்கள் ஆகியவற்றின் இருப்பிடங்களைக் கண்டறியலாம்.

570 நில நடுக்க வரைவி (Seismograph)

இது நிலநடுக்க அலைகளைப் பதிவு செய்யும் ஒரு கருவி ஆகும். இதில் CW என்னும் கிடைமட்டக் கம்பியின் ஒரு முனையில் W என்னும் கனமான பளு பொருத்தப்பட்டிருக்கும் கம்பியின் C முனை, பூமியின் நேர்குத்துக்கு சுமார் 6' சாய்ந்திருக்கும் AB என்னும் அதிர்வு அச்சுடன் செங்குத்தாய் இணைக்கப்பட்டிருக்கும். பளுவுடன் இணைக்கப்பட்ட கூரிய ஊசி, D என்னும் சுழலும் உருளையின் மேல் பொருத்தப் பட்ட புகையூட்டப் பட்ட தாளை தொட்டுக் கொண்டிருக்கும். நில நடுக்கம் ஏற்படும் போது, பூமியும் அதனுடன் அச்சும் உருளையும் அலைவுறும். இதனால் கூரிய ஊசி சிறிதளவே நகர்ந்து பதிவுத் தாளில் கோணல் கோடுகளை ஏற்படுத்தும்.



தற்காலத்தில் இவ்வதிர்வுகள் மின்காந்த முறையில் துல்லியமாகப் பதிவு செய்யப் படுகின்றன. கிடை மட்டக் கம்பியின் ஒரு பகுதியில் செம்புச் சுருள் சுற்றப் பட்டு அதன் இரு முனைகளும் ஓர் அசைவுச் சுருள் கால்வனா மீட்டருடன் இணைக்கப் பட்டிருக்கும். நில நடுக்கம் ஏற்படும்போது கம்பி அலைவுற்று மின்னோட்டம் தோன்றும். இதனால் கால்வனாமீட்டரின் சுருள் விலக்கம் அடைந்து அதனுடன் இணைந்த ஆடி எதிரொளிக்கும் ஒளிக் கற்றையானது சுழலும் உருளையின் மேல் ஒட்டப்பட்ட புகைப் படத்தாளில் விழுந்து நிரந்தர நில நடுக்கக் கோடுகளைப் பதிவு செய்யும்.

இவ்வரைவி நில நடுக்கங்களை முன் கூட்டியே அறியவும் பூமியின் உட்பகுதியைப் பற்றி அறியவும் பயன் படுகிறது.

571 நீரடி ஒலியியல் (Underwater acoustics)

இது ஒலி அலைகளைக் கொண்டு நீரில் ஒரு செய்தியைப் பரப்பப் பயன்படும் அறிவியலாகும். இதன் மூலம் கப்பல்களுக்கு ஏற்படும் தடங்கல்கள் தவிர்க்கப் படுகின்றன.

1912-ஆம் ஆண்டு Fessenden என்பார் சுமார் 1000 அதிர்வெண் கொண்ட அதிர்வியை நீரடி ஒலிமூலமாகப் பயன்படுத்தி மோர்ஸ் சங்கேதக்குறி மூலமாக ஒரு கப்பலிலிருந்து மற்றொறு கப்பலுக்குத் தகவல் தொடர்பை ஏற்படுத்தினார். பின்னர் இவ்வலையை கடலுக்கடியில் செலுத்தி அது எதிரொலிக்கும் நேரத்தைக் கணக்கிட்டுக் கடலில் ஆழத்தைக் கண்டறிந்தார்.

நீர்ப் பரப்புக்கடியில் பரவும் ஒலி அலைகளை Hydrophone என்னும் கருவி கொண்டு கண்டறியலாம். இது நீர்மூழ்கிக் கப்பலின் இருப்பிடத்தை அறியவும் பயன்படுத்தப் படுகிறது. ஃபாதோமீட்டர் (Fathometer) என்னும் கருவி கொண்டு கடலின் ஆழத்தையும் மீன்கள் திரளாக உள்ள பகுதிகளையும் கண்டறியலாம். ஒலி அலைகளை ரேடியோ ஊர்தி அலைகளோடு பண்பேற்றம் (modulation) செய்து நீருக்கடியில் சுமார் 10 மைல் தொலைவுவரை பேச்சுத் தொடர்பு கொள்ளளாம்.

572 நுண்ணலை ஒலியியல் (Microwave Acoustics)

நுண்ணலை அதிர்வெண்கள் (சுமார் 10^{-9} முதல் 10^{-11} Hz வரை) கொண்ட பொருட்களின் மீட்சியல் அதிர்வு பற்றி அறிவதே நுண்ணலை ஒலியியல் என்பர். இதன் பயன்கள் பல. எடுத்துக்காட்டாக, படிகங்களின் சுணக்க வரிகள் (delay lines) ராடார் முறைமைகளில் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

573 மீயெதிரொலி (Ultrasonic echo)

இயல்பு ஒலியைப் போன்றே மீயொலியும் எதிரொலிக்கும் தன்மை கொண்டது. 20 கிலோ ஹெர்ட்சுக்கு மேல் அதிர்வெண் கொண்ட மீயொலி அலைகளைத் தோற்றுவித்து அவை ஒரு பொருளின்மீது பட்டு எதிரொலிக்கத் தேவைப்படும் நேரத்தைக் கணக்கிட்டு கடலின் ஆழம், உலோகத்தின் உள்ளார்ந்த கீறல், விமானங்கள் கப்பல்கள் ஆகியவற்றின் இருப்பிடம் போன்றவற்றை அறிய உதவும். இம்முறைக்கு மீயெதிரொலி முறை எனப்பெயர்.

கடலின் ஆழம் காண, எதிரொலிமானி (echometer) பயன்படுத்தப்படுகிறது. இக்கருவியில் உயர் அதிர்வெண் கொண்ட மீயொலிகள் தோற்றுவிக்கப்பட்டுக் கடலுக்கடியில் செலுத்தப்படுகின்றன. எதிரொலிக்கப்பட்ட மீயொலி ஏற்பி மூலம் பெறப்படுகிறது. மீயாலி தோற்றுவிக்கப்பட்டு மீண்டும் பெறப்படும் நேரம் (t) ஒரு அலை

வரைவி (oscillograph) கொண்டு கணக்கிடப்படுகிறது. நீரில் மீயொலியின் திசைவேகம் 'V' எனக் கொண்டால் கடலின் ஆழம் vt/2 ஆகும்.

சோனார் கருவியிலும் மீயொலிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

574 மீயொலி அலை (Ultrasonic wave)

இது 20 கிலோ ஹெர்ட்சுக்கு மேற்பட்ட அதிர்வெண் கொண்ட ஒலி அலையாகும். நம் செவியால் உணர முடியாத அதிர்வுகள் கொண்டு பரவும் இவ்வொலி செவியுணரா ஒலி அல்லது கேளா ஒலி எனவும் அழைக்கப்படுகிறது. இயற்கையில் தேனீக்கள், வௌவால் போன்றவை மீயொலிகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன.

காந்தப் பரிமாண மாற்று முறை (magneto-stricttion method) பீசோ மின்னியற்றி முறை (Piezo-electric generator method) போன்ற முறைகளில் மீயொலிகளைத் தோற்றுவிக்கலாம்.

சாதாரண ஒலிகளைப் போல் எதிரொலித்தல், ஒலிவிலகல், உட்கவர்தல் போன்ற பண்புகள் மீயொலிகளுக்கு உண்டு. மீயொலிகள் மிக உயர்ந்த அதிர்வெண் கொண்டவையாதலால் அவை ஆற்றல் மிக்கன.

அழகுப் பொருட்கள், புகைப் படத்தட்டுகள் போண்றவற்றிற்கான கலவைப் பூச்சுகள் (emulsions) தயாரிக்கவும், ஒன்றோடொன்று கலக்காத இரு திரவங்களை ஒன்று சேர்க்கவும், உலோகங்களின் உட்பகுதிகளில் உள்ள கீரல், காற்றுப்புழை போன்றவற்றை உணரவும, கலப்பு உலோகம் செய்யவும், துணிகளிலுள்ள அழுக்கு, கறை போன்றவற்றை எளிதில நீக்கித் தூய்மை செய்யவும், அறுவை சிகிச்சையின்றி கட்டி, சிறுநீரகக் கற்கள் போன்றவற்றை நீக்கவும், கப்பல்களுக்கு இடையேயும், விமானங்களுக்கிடையேயும் செய்தித் தொடர்பு கொள்ளவும், கடலின் ஆழத்தைக் காணவும் மீயொலிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

575 மேற்சுரம் (Overtone)

எந்த ஓர் இசைக் கருவியின் ஒலியிலும் பல சுரங்கள் அடங்கியிருக்கும். அதில் மிகக் குறைந்த அதிர்வெண்கொண்ட சுரத்திற்கு அடிப்படைச் சுரம் என்று பெயர். அதே ஒலியில் அடங்கியுள்ள வேறு அதிர்வெண்களுடைய மற்ற சுரங்களுக்கு மேற்சுரங்கள் என்று பெயர். ஓர் இசைக் கருவியின் ஒலியில் உள்ள அடிப்படைச் சுரம் அதன் சுருதியை (Pitch) நிர்ணயிக்கிறது. மேற்சுரங்களின் வலிமை குறைந்திருக்கும். இவை இசைக் கருவியின் பண்பைப் பொருத்தமையும். ஒவ்வொரு இசைக்கருவியும், தமக்கே உரிய வெவ்வேறு மேற்சுரங்களை உண்டாக்கும். இவ்வேறுபாடே அந்த இசைச்சுரத்தின் பண்பைத் தீர்மானிப்பதோடு, பல இசைச் சுரங்களை வேறுபடுத்தியறியவும் உதவுகிறது. அதாவது, ஓர் இசையின் பண்பு என்பது பல அதிர்வெண்களைக் கொண்ட சுரங்களின் தொகுப்பால் அமைகிறது. இது மேற்சுரங்களையும், அவற்றின் சுரபுச் செறிவையும் பொருத்து இருக்கும்.

576 விம்மல்கள் (Beats)

கிட்டத்தட்ட சமமான அதிர்வெண்ணும் (frequency) வீச்சும் (amplitude) கொண்ட இரு ஒலிகள் ஒன்றோடொன்று கலக்கும்போது தொகுபயன் ஒலி மாறி மாறி பெருமமாகவும் சிறுமமாகவும் அமையும். தொகுபயன் ஒலியின் செறிவு பெருமத்திற்கு ஓங்கி சிறுமத்திற்குத் தாழும். ஒலி இவ்வாறு பெரும உரப்புக்கும் சிறும உரப்புக்கும்

மாறுவதை விம்மல் (**beat**) என்பர். ஒரு வினாடியில் ஏற்படும் விம்மல்களின் எண்ணிக்கை இரு அதிர்வெண்களின் வேறுபாட்டிற்குச் சமமாகும். **a, b** வீச்சுக்கள் கொண்டதும், n_1, n_2 அதிர்வெண்கள் கொண்டதுமான இரண்டு சீரியல்பான இயக்கங்களைக் கருத்தில் கொள்வோம். அவை ஒரே சமயத்தில் ஒரு துகளைத் தாக்குவதாகக் கொண்டால் **t**-நேரத்தில் அவற்றின் இடப் பெயர்ச்சியினை

$$y_1 = a \sin 2\pi n_1 t$$

$$y_2 = b \sin 2\pi n_2 t$$

என்ற கோவைகள் மூலம் குறிப்பிடலாம். இரண்டும் ஒன்றாகக் கலப்பதால் ஏற்படும் தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சி y எனின்,

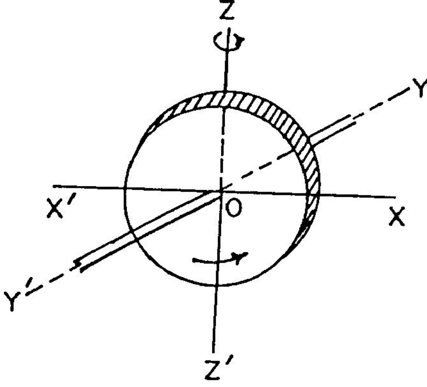
$$y = y_1 + y_2 = a \sin 2\pi n_1 t + b \sin 2\pi n_2 t$$

இச் சமனிலிருந்து ஒரு வினாடிக்கு ஏற்படும் விம்மல்களின் எண்ணிக்கை $n1 \sim n2$ என வருவிக்கலாம்.

பொருட்பண்பியல்
Properties of Matter

577 அகப்புறச் சுழற்சி (Precession)

அச்சாணியோடு (axle) ஒன்றிய அச்சு ஒன்றைப் பற்றி ஒரு பொருள் சீராகச் சுழலும்போது பொருளின் கோணத் திசைவேகம் ω எனக் கொள்வோம். கோணத் திசைவேகம் ஒரு திசையி (vector) ஆகும். ஆகவே, அதன் சுழற்சி வேகம் ω ஆகும். திசை, அச்சாணி வாட்டத்திலும் அமைந் துள்ளது. இந்நிலையில் பொருளின் சுழற்சி வேகம் மாறாமலும், அதே நேரம், அதன் திசை சீராக மாறுவதாகவும் கொள்வோம். திசை மாறுவதால, பொருள் சீரான கோண முடுக்கம் பெறுவதாகப் பொருள்படும். சீரான கோண முடுக்கம் தோற்றுவிக்க 'சுழற்சி விசை' தேவை. இந்தச் சுழற்சி விசை, பொருளின் அச்சாணிக்குச் (தற்சுழற்சி அச்சுக்கு) செங்குத்துத் திசையில் செயல்படும். இந்தச் செயற்பாட்டின் காரணமாக, பொருள் தற்சுழற்சி அச்சு மற்றும் தற்சுழற்சி அச்சுக்குச் செங்குத் தாகச் செயற்படும் சுழற்சிவிசை ஆகிய இரண்டுக்கும் செங்குத்தான திசையில் அமைந்துள்ள அச்சைப் பற்றி சுழற்சி வேகம் மாறாத வகையில், சீரான கோண முடுக்கத்துடன் சுழன்று வரும். இந்த சுழற்சிக்கு அகப்புறச் சுழற்சி என்று பெயர். படத்தில் காட்டியபடி, வட்டத்தகடு ஒன்றின் அச்சாணியோடு OY என்ற அச்சு பொருந்தியுள்ளது. இந்தச் அச்சைப்பற்றித் தகடு சீராக சுழன்று வருகிறது. OX என்ற அச்சின் வாட்டத்தில், சுழற்சி விசை ஒன்று தகட்டின் மீது செயற்படுகிறது. இதன் காரணமாக, தகடு OZ என்ற அச்சைப் பற்றி அகப்புறச் சுழற்சி இயக்கம் நடத்துகின்றது.



அகப்புறச் சுழற்சி

578 அலகு முறைகள் (Systems of Units)

நீளம், நிறை, நேரம், வெப்பநிலை, திசைவேகம், செயல், ஆற்றல் போன்றவற்றை இயற்பியல் அளவினங்கள் என்கிறோம். இவற்றை அளப்பதற்கு மூன்று அடிப்படை அலகுகள் பொதுவில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. அவை நீளம், நிறை, நேரம் என்பனவாகும். இதர எல்லா அலகுகளும் இவற்றிலிருந்து தருவிக்கப்பட்ட வழி அலகுகள் ஆகும். எடுத்துக்காட்டாக பரப்பு என்கிற அளவினம் நீளம், அகலம் என்கிற இரு நீளவகை அளவினங்களின் பெருக்குத் தொகையாகும். இவ்வாறு எல்லா வழி அலகுகளையும் ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட அடிப்படை அலகுகளின் உயர்மடிகளாய்க் குறிப்பிட முடியும். பல்வேறு அலகுமுறைகள் நடைமுறையில் உள்ள போதும் மூன்று அலகு முறைகள் குறிப்பிடத்தக்கவை. அவை: 1. **மீட்டர் – கிலோகிராம் – வினாடி அலகு முறை** : இதில் நீளத்தின் அலகு மீட்டர். நிறையின் அலகு கிலோகிராம், நேரத்தின் அலகு வினாடி. 2. **சென்டிமீட்டர் – கிராம் – வினாடி அலகு முறை** : இதில் நீளம், நிறை, நேரம் ஆகியவற்றின் அலகுகள் முறையே சென்டிமீட்டர், கிராம், வினாடியாகும். 3. **பன்னாட்டு அலகு முறை**: இதுவே இன்று அறிவியல்–தொழில்நுட்ப அலகுமுறையாக உலகெங்கிலும் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதில் ஏழு அடிப்படை அலகுகளும் சில துணை அலகுகளும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

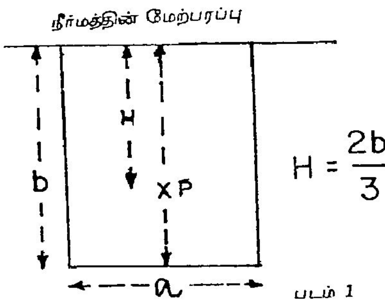
அடிப்படை அலகுகள்:			
	நீளம்	–	மீட்டர்
	நிறை	–	கிலோகிராம்
	நேரம்	–	வினாடி

மின்னோட்டம்	-	ஆம்பியர்
வெப்ப நிலை	-	டிகிரி கெல்வின்
ஒளிச்செறிவு	-	கேண்டலா
பொருண்மை (பொருளின் அளவு)	-	மோல்

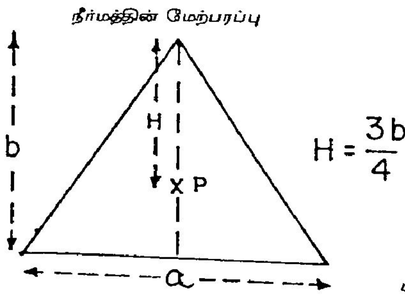
துணை அலகுகள் : சமதளக் கோணம் - ரேடியன்
திடக் கோணம் - ஸ்டெராடியன்

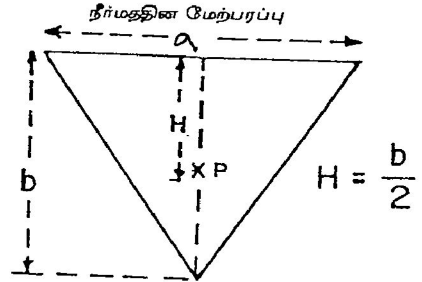
579 அழுத்த மையம் (Centre of pressure)

ஒரு பொருள் ஒரு நீர்மத்தில் மூழ்கியிருக்கும்போது, நீர்ம அழுத்தமானது, மூழ்கியுள்ள பரப்பின் எல்லாப் புள்ளிகளிலும் நேர்குத்தாகச் செயற்படுகிறது. ஒரு தளத்தில் வெவ்வேறு பகுதிகளில் ஏற்படும் அமுக்கங்கள் ஒன்று சேர்ந்து இணையான விசைகளை ஏற்படுத்துகின்றன. இந்த இணை விசைகளின் தொகுபயன் தளப்பரப்பில் ஏதேனும் ஒரு புள்ளியில் செயற்படும். இந்தப் புள்ளியே அழுத்த மையம் P (centre of pressure) எனப்படும். இதன் வரையறை: நீர்மத்தில் உள்ள ஒரு தளப்பரப்பின் பல புள்ளிகளில் அமுக்கத்தால் ஏற்படும் பல இணைவிசைகளின் தொகுபயன், அந்தப் பரப்பின் ஒரு புள்ளியில் இயங்குமானால் அதுவே அந்தத் தளப்பரப்பின் அழுத்த மையமாகும். நீளம் b, அகலம் a உடைய செவ்வக வடிவமுள்ள ஒரு தகடு, நீர்மத்தில் படம்



படம் 1





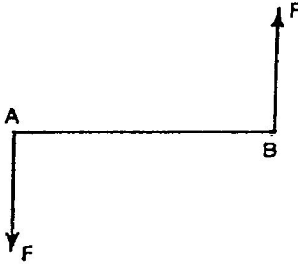
படம் 2

1-ல் காட்டியது போல்அமிழ்ந்து இருக்கும்போது அதன் அழுத்த மையம் நீர்மத்தின் மேற்பரப்பில் இருந்து (H =) 2b/3 ஆழத்தில் இருக்கும். முக்கோண வடிவமுள்ள தகடு, நீர்மத்தில் அமிழ்ந்து இருக்கும் போது, அதன் அழுத்த மையம் படம் 2- ல் காட்டியதுபோல் அமைந்திருக்கும்.

580 இரட்டை (Couple)

ஒரு திடப்பொருளின்மீது செயற்படும் இரு இணைவிசைகள் ஒரே திசையில் செயற்படும்போது ஒத்த இணைவிசைகள் எனப்படும். எதிரெதிர் திசைகளில் செயற்பட்டால் அவை எதிர் இணைவிசைகள் எனப்படும். இரு சமமான எதிர் இணைவிசைகள் செயற்படும் விசைக்கோடுகள் (lines of force) ஒன்றுடன் ஒன்று இணையாமல் விலகியிருக்கும்போது ஓர் இரட்டை செயற்படுகிறது.

இரட்டையை உருவாக்கும் இரு விசைகளின் விசைக்கோடுகளுக்கு இடையேயுள்ள செங்குத்துத் தொலைவை இரட்டையின் கரம் (arm) என்கிறோம். இரட்டையை உருவாக்கும் விசைகளில் ஒன்றையும் இரட்டையின் கரத்தையும் பெருக்கி வரும் தொகையே இரட்டையின் திருப்புதிறன் என்கிறோம்.



இரட்டையின் திருப்புதிறன்= F x AB.

திடப்பொருளின்மீது ஓர் இரட்டை செயற்படும்போது அப்பொருளை ஒட்டு மொத்தமாய் சுழற்ற முயற்சிக்கிறது.

581 ஈர்ப்புப்புலம் (Gravitational field)

ஒரு துகளைச் சுற்றிய எந்தப்பரப்பில் அத்துகளின் நிறை ஈர்ப்புவிசை உணரப்படுகிறதோ அந்தப்பரப்பே ஈர்ப்புப்புலம் என்றழைக்கப்படுகிறது. ஈர்ப்புப்புலத்தில் உள்ள ஒரு புள்ளியின் புலச்செறிவு என்பது அப்புள்ளியில் வைக்கப்பட்ட ஓரலகு நிறை உணரும் ஈர்ப்பு விசையாகும். அதாவது $\vec{E} = \vec{F}/m$. இங்கு $\vec{E}$ என்பது ஈர்ப்புப்புலச் செறிவு, $\vec{F}$ என்பது m நிறையின்மீது செயற்படும் ஈர்ப்பு விசையாகும். ஈர்ப்புப்புலம் ஒரு திசையி புலம் ஆகும்.

M நிறையொன்றினால் r தொலைவிலுள்ள m நிறையின்மீது உருவாகும் ஈர்ப்புப்புலமானது, m நிறையின்மீது செயற்படும் விசையை m-ஆல் வகுக்கக் கிடைப்பதற்குச் சமமாகும். அதாவது

$$\vec{E} = -\frac{GMm}{r^2 m}\hat{r} = -\frac{GM}{r^2}\hat{r}$$

இங்கு $\hat{r}$ என்பது $\vec{r}$ன் திசையிலான அலகு திசையி ஆகும். MKS முறையில் ஈர்ப்புப்புலச் செறிவின் அலகு 1 நியூட்டன்/கி.கி. ஆகும்.

582 ஈர்ப்பு அழுத்தம் (Gravitational potential)

M நிறையுள்ள ஒரு பொருளின் ஈர்ப்புப் புலத்தில் உள்ள ஏதேனும் ஒரு புள்ளியில் இருந்து முடிவிலாத் தொலைவிலுள்ள ஒரு புள்ளிக்கு ஓரலகு நிறையொன்றை ஈர்ப்பு விசைக்கு எதிராக நகர்த்துவதற்கு செய்யப்படும் வேலையின் அளவே அப்புள்ளியின் ஈர்ப்பழுத்தம் (V) எனப்படுகிறது. M நிறையுள்ள பொருள் அதன் மையத்திலிருந்து r தொலைவிலுள்ள ஓரலகு நிறையொன்றின் மீது செயற்படுத்தும் ஈர்ப்பு விசை, $\vec{F} = -(M.1/r^2)\ \hat{G}r = -(GM/r^2)\hat{r}$.)ங்கு $\hat{r}$ என்பது $\vec{r}$ திசையிலான அலகு திசையியாகும். எனவே r தொலைவில் உள்ள ஒரு புள்ளியிலிருந்து முடிவிலாத் தொலைவிலுள்ள ஓர் புள்ளிக்கு ஓரலகு நிறையை நகர்த்துவதற்கு செய்ய வேண்டிய வேலை

$$W = -\int_{\infty}^{r}\vec{F}.\vec{dr} = -\int_{\infty}^{r}\frac{GM}{r^2}\hat{r}\,\vec{dr} = -\int_{\infty}^{r}\frac{GM}{r^2}dr$$

வரையறையின்படி இது அப்புள்ளியில் உள்ள ஈர்ப்பழுத்தத்தைக் கொடுக்கிறது. அதாவது

$$V = -\int_{\infty}^{r}\frac{GM}{r^2}dr = -\frac{GM}{r}.$$

இங்கு எதிர்குறியானது, முடிவிலாத் தொலைவில் உள்ள புள்ளியில் ஈர்ப்பு அழுத்தம் சுழி என்பதைக் குறிக்கிறது. ஈர்ப்பழுத்தத்தின் M K S. அலகு 1 ஜூல்/கி.கி. ஆகும்.

583 உயவு எண்ணெய் (Lubricant)

இரண்டு பரப்புகளுக்கிடையில் சார்பியக்கம் இருந்து அவை தொட்டுக்கொண்டு இருப்பின் உராய்வு விசைகளினால் பரப்புகள் பாதிக்கப்படுகின்றன; இயக்கமும்

தடைபடுகின்றது. பரப்புகளுக்கிடையே உயவுப்பொருள் ஒன்றை வைப்பதன் மூலம் இயக்கம் சீரடைகிறது. இரு பரப்புகளுக்கிடையே ஏற்படும் உராய்வினையும் அதன் பொருட்டு ஏற்படும் தேய்வைக் குறைக்கவும் உயவு எண்ணெய் பயன்படுகிறது. இது பரப்புகளின் இணைப்பில் இருக்கும் இடைவெளியில் மெல்லிய ஏட்டினை ஏற்படுத்தி, உராய்வினால் ஏற்படக்கூடிய வெப்பத்திறனை அகற்றி, பரப்புகளைக் குளிர்விக்கிறது. எனவே பரப்புகளுக்கிடையே உள்ள திட உராய்வு நீக்கப்பட்டு மிகக் குறைந்த உராய்தல் உள்ள 'பாய்ம உராய்வு' ஏற்படுகிறது.

சுரங்கங்களிலிருந்து கிடைக்கும் தாது அல்லது கனிமப்பொருள்களிலிருந்து உருவாகும் தாது எண்ணெய், தாவர எண்ணெய், மசகு அல்லது அகட்டுக் கொழுப்பு எண்ணெய் (animal land oil), மசகுக் கொழுப்பு (grease) ஆகியவை முக்கியமாக உயவிடப் பயன்படுகின்றன. பெட்ரோலியத் தாதுப் பொருட்களிலிருந்து கிடைக்கப்பெறும் தாது எண்ணெய் உட்கனற் பொறிகளில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. அதிக வெப்பநிலையிலும் அதிக பாகுத்தன்மை கொண்டுள்ளதால் தாவரவகை எண்ணெய்கள் பந்தய ஊர்திகளிலும், விமானப் பொருட்களிலும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. மேலும் தற்போது ஆற்றல் பெருக்கும் சரக்கு அல்லது மசகுப் பொருள் சேர்க்கப்பட்டும் (doped), நீரக செறிவு ஊட்டப்பட்டும் (hydrogenated), ஆவியாகும் பண்பில் பதப்படுத்தப்பட்டும் (volatilised) புதிய முறையில் உயவு எண்ணெய் சேர்மங்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. உயவு எண்ணெய் கீழ்க்காணும் குண இயல்புகளைக் கொண்டிருத்தல் அவசியம். போதிய பாகுத்தன்மை ; உறுப்புகளிடையே எப்போதும் ஒட்டிக் கொண்டிருக்கும் மசகிடு தன்மை (oilness); உறுப்புக்களிடையே உலோகத் தொடர்பினைத் தடுக்கவும், பளு உள்ள போதோ, சுழல் வேகத்திலோ, இயக்கம் தடைபெறாமல் இருக்க வலிமைமிகு ஏடு; பொறியின் உறுப்புகளை அரிந்தெடுக்காத தன்மை; காற்று, எரிபொருள், நீர், களற்சிப்பொருள்கள் ஆகியவற்றுடன் இணையும் தருவாயில் எவ்விதப் படிவுகளும் உருவாகாத நிலை; உறுப்புகளில் ஏற்படக்கூடிய படிவுகளை நீக்கி சுத்தப்படுத்தும் தன்மை; விடத்தன்மை, எரிபற்றுதல், வெடிப்புக்குள்ளதால் போன்ற இயல்புகள் அற்ற பாதுகாப்புடன் கூடிய இயல்பு.

584 **உராய்வு விதிகள்** (Laws of friction)

இரு பொருட்கள் ஒன்றையொன்று தொட்டுக்கொண்டிருக்கும்போது ஒன்றின் மீதொன்று நழுவுவதையோ, உருளுவதையோ தடைசெய்ய முயலும் வகைகளில் அவற்றின் தொடு புளளி வழியே செயற்படும் விசை உராய்வு எனப்படும். ஒரு பொருள் இன்னொரு பொருளின்மீது நகரும் நிலையிலிருக்கும்போது அப்பொருட்களினால் உண்டாகும் உராய்வு விசை அதன் உச்ச அளவைப் பெறுகிறது. உராய்வு விசையின் இவவுச்ச அளவு எல்லையுராய்வு என்றழைக்கப்படுகிறது. உராய்வு விசை உச்சமாயிருக்கும்போது பொருட்களில் காணப்படும் சமநிலைக்கு எல்லைச் சமநிலை என்று பெயர். உராய்வு விசை கீழ்க்கண்ட விதிகளைக் கொண்டு வரையறுக்கப்படுகிறது.

1) இரு பொருட்கள் தொடுகையிலிருக்கும்போது தொடுபுள்ளியில் ஒன்றின்மீது செயற்படும் உராய்வு மற்றதன்மீது தழுவிச் செல்ல முயலும் திசைக்கு எதிராக செயற்படும்

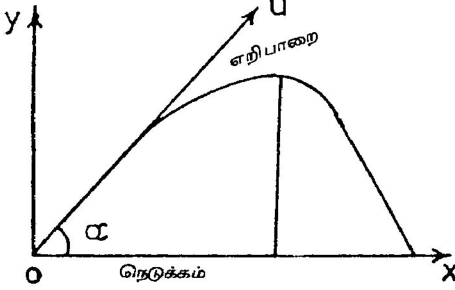
2) சமநிலை உராய்வின் அளவு பொருளின் இயக்கத்தைத் தடுப்பதற்கு சரியாகப் போதுமானதாயிருக்கும்;

3) எல்லையுராய்வு நேர்குத்தெதிர் விசையுடன் ஒரு மாறாத் தகவைக் கொண்டிருக்கும். இத்தகவு தொடுகையிலுள்ள பொருட்களின் மூலப்பொருட்களுடைய தன்மைகளை மட்டுமே சார்ந்திருக்கும்;

4) நேர்குத்தெதிர் விசை மாறாதிருக்கும்வரை எல்லையுராய்வு தொடுகைப் பகுதியின் பரப்பளவு, வடிவமைப்பு ஆகியவற்றைச் சார்ந்திருக்கும்.

585 எறிதுகள் (Projectile)

காற்றில் மேல் நோக்கி ஏதோ ஒரு திசையில் ஏதோ ஒரு திசை வேகத்தில் எறியப்படும் பொருளை எறிதுகள் என்றும், அதன் இயக்கத்தை எறிதுகள் இயக்கம் என்று கூறுவர். எறிதுகள் செல்லும் பாதையை எறிபாதை (trajectory) என்கிறோம். எறிதுகள் மீது செயற்படும் இரு விசைகள் அதன் எடையும் காற்றின் தடையுமாகும். எறியப்பட்ட பொருள் கிடைத்தளத்துடன் ஏற்படுத்தும் கோணத்தை எறிகோணம் என்கிறோம். எறியப்பட்ட பொருளின் வேகத்தை எறிதிசைவேகம் என்கிறோம். எறி புள்ளிக்கும் எறிபாதை கிடைத்தளத்தை மீண்டும் சந்திக்கும் புள்ளிக்கும் இடையேயுள்ள தூரம் நெடுககம் (range) எனப்படும். எறியப்பட்ட கணத்திலிருந்து மீண்டும் கிடைத்தளத்தை வந்தடைய எடுத்துக் கொள்ளும் நேரம் பறக்கும் நேரம் (time of flight) எனப்படும்.



எறி இயக்கத்தில் கிடைத்தளத் திசைவேகம் மாறுவதில்லை. ஆனால் செங்குத்துத் திசைவேகக் கூறு புவிஈர்ப்பு முடுக்கத்தால் கட்டுப்படுத்தப்படுகிறது. காற்றுத் தடை இல்லாதபோது எறிதுகளின் பாதை பரவளையமாக உள்ளது. எறி கோணம் α, எறி திசைவேகம் u, புவிஈர்ப்பு முடுக்கம் g எனில்,

பொருள் அடையும் பெரும உயரம் $h = \frac{u^2 \sin^2\alpha}{2g}$; பறக்கும் நேரம் $= \frac{2u \sin \alpha}{g}$;

நெடுக்கம் $= \frac{2u^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$.

586 ஐசோகிராம் (Isogram)

கொடுக்கப்பட்டுத் தொடர்பு படுத்தப்படும் புறப்பரப்பின்மீது சம எண் மதிப்பைப் பெற்றுள்ளவாறு கொடுக்கப்பட்ட அளவுடைய எல்லாப் புள்ளிகளையும் இணைத்து வரையப்படும் கோடு ஐசோகிராம் எனப்படும். எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு தெரிவு செய்யப்பட்ட வானிலை நிகழ்வியக்கங்களுக்குரிய (meteorological) நிகழ்ச்சியில், ஒரே மாதிரியான, அடுத்தடுத்து நிகழும் நிலைக்குட்படுத்தப்பட்ட அந்த நில இயல் சார்ந்த புள்ளிகள் மூலமாக வரைகின்ற கோடுகளுக்கு வானிலை ஆய்வு நூலில் சில சமயங்களில் 'ஐசோகிராம்' பயன்படுத்தப்படுகின்றது. இதை ஐசோலைன் என்றும் அழைக்கிறார்கள். எடுத்துக்காட்டாக, சமமான உப்புத் தன்மையுடைய எல்லாப் புள்ளிகளையும் இணைக்கின்ற ஒரு புள்ளி விவரக் காட்சிப் படத்தின் மீதான கோடுகளை ஐசோலைன்கள் என்று கூறுவர்.

587 கிளாசியஸ்–கிளபேரான் உள்ளுறை வெப்பச் சமன்பாடு (Clausius Clapeyron latent heat equation)

ஒரு பொருளின் இயற்பியல் நிலை (திட, திரவ, வாயு) மாறுபாடு தொடர்பான $(dp/dt) = (\delta H/T\delta v)$ என்ற சமன்பாடு கிளாசியஸ்–கிளபேரான் உள்ளுறை வெப்ப சமன்பாடு எனப்படும். இதில் P- என்பது அழுத்தத்தையும், T- என்பது நிலைமாற்றம் நிகழும் வெப்பநிலையையும், δH – என்பது வெப்ப அளவில் தோன்றும் மாற்றத்தையும் (மொத்த

வெப்பம்) (enthalpy), δV– என்பது நிலைமாற்றமுறும்போது தோன்றும் பருமன் மாற்றத்தையும்,$(V_2 - V_1)$ குறிப்பனவாகும். இது கிளபேரான் சமன்பாடு எனவும் கூறப்படும்.

இச் சமன்பாட்டின் பயன்கள்:

1) **உருகுநிலைமேல் அழுத்த மாறுபாடு ஏற்படுத்தும் விளைவு** : ஒரு திண்மப் பொருள் திரவமாக மாறும்பொழுது அதன் பருமனில் மாற்றம் ஏற்படுகிறது.

(i) V2 என்பது V1-ஐ விட அதிகமாக இருப்பின் (dp / dt) என்பது நேர்மறை ஆகும். அதாவது வெப்ப நிலையைப் பொறுத்து, அழுத்த மாறுபடுவிதம் நேர்மறை ஆகும். அத்தகைய நிலையில் பொருளின் உருகுநிலை, அழுத்தம் அதிகமாகும்பொழுது, அதிகமாகும். அழுத்தம் குறையும்பொழுது, உருகுநிலையும் குறையும்.

(ii) V2 என்பது V1-ஐ விட குறைவாக இருப்பின் (dp / dt) என்பது எதிர் வெப்ப நிலையைப் பொறுத்து, அழுத்த மாறுபாடு வீதம் எதிர்மறை ஆகும். அத்தகைய நிலையில் பொருளின் உருகுநிலை, அழுத்தம் அதிகமாகும்பொழுது, குறையும்; அழுத்தம் குறையும் பொழுது, உருகுநிலை அதிகமாகும். பனிக்கட்டி உருகுதலில், நீரின் பருமன் பனிக்கட்டியின் பருமனை விடக்குறைவாகும். அதாவது, V2 என்பது V1–ஐ விடக் குறைவாக இருக்கும். ஆகையால் அழுத்தம் அதிகமாகும்பொழுது பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை குறைகிறது. இதனால்தான், பனிக்கட்டியானது இயல்புநிலை அழுத்தத்தைவிட அதிகமாக இருக்கும்பொழுது $0^{\circ}C$–க்குக் குறைவான வெப்பநிலையில் உருகுகிறது. 76 செ.மீ. மெர்க்குரி அழுத்தத்தில், பனிக்கட்டி சரியாக $0\,^{\circ}C$ வெப்பநிலையில் உருகும்.

2) **கொதி நிலைமேல் அழுத்த மாறுபாடு ஏற்படுத்தும் விளைவு:**

ஒரு திரவமானது வாயு நிலையை அடையும்பொழுது வாயுவின் பருமன் V2, அதற்குரிய திரவத்தின் பருமன் V1-ஐவிட எப்பொழுதும் அதிகமாகவே இருக்கும். அதாவது $V_2 > V_1$. ஆகையால் (dP / dT) நேர்மறை ஆகும்.

அழுத்தம் அதிகமாகும்பொழுது, ஒரு பொருளின் கொதிநிலை அதிகமாகும். அழுத்தம் குறைந்தால், கொதி நிலையும் குறையும். எடுத்துக்காட்டாக, நீரின் அழுத்தம் அதிகமானால் அதன் கொதிநிலையும் அதிகமாகிறது. 76 செ.மீ மெர்க்குரி அழுத்தத்தில் நீரின் கொதிநிலை $100\,^{\circ}C$ ஆகும். ஆய்வுகளில் நீராவி தயார் செய்யும்பொழுது, நீரின் கொதிநிலை $100^{\circ}C$ க்கும் குறைவாக இருப்பதற்குக் காரணம், வளி அழுத்தம் 76 செ.மீ. மெர்க்குரிக்குக் குறைவாக இருப்பதாகும். அழுத்த சமையல் கலங்களில் (pressure cookers) அதிக வெப்பநிலையில் திரவம் கொதிக்கிறது. ஏனெனில், கலத்தினுள்ளே உள்ள அழுத்தம், வளியழுத்தத்தைவிட அதிகமாக இருப்பதேயாகும்.

588 கோணத் தாக்களவு (Angular impulse)

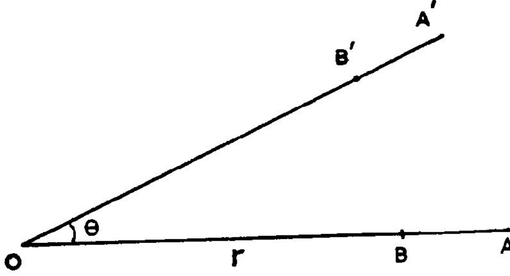
ஒரு நேர்கோட்டில் இயக்கம் நிகழ்த்தும் பொருள் ஒன்றின் நிறை மற்றும் அதன் திசைவேகம் ஆகியவற்றின் பெருக்கல்பலன் உந்தம் எனப்படும். இதைப்போல, ஓர் அச்சைப்பற்றி சுழற்சி இயக்கம் நிகழ்த்தும் பொருள் ஒன்றின் சுழற்சி நிலைமம் மற்றும் அதன் கோணத் திசைவேகம் ஆகியவற்றின் பெருக்கல்பலன் கோண உந்தம் எனப்படும். பொருளின் உந்தம் மாறுபட வேண்டுமாயின், அதன்மீது புறவிசை செயற்பட வேண்டும். இந்த உந்த மாறுபாடு, பொருளின்மீது செயற்படும் விசையின் அளவு மற்றும் அது செயற்படும் நேரம் ஆகியவற்றின் பெருக்கல் பலனுக்குச் சமம். இதே போன்று, பொருளின் கோண உந்தம் மாறுபட வேண்டுமாயின், அதன் மீது சுழற்சி விசை செயற்பட வேண்டும். இந்தக் கோண உந்த மாறுபாடு, பொருளின்மீது செயற்படும் சுழற்சி விசையின் அளவு

மற்றும் அது செயற்படும் நேரம் ஆகியவற்றின் பெருக்கல்பலனுக்கு சமம் τ எனும் சுழற்சி விசை, δt எனும் மிகக் குறுகிய கால இடைவெளியில், ஒரு பொருளின் மீது செயற்படின், கோணத் தாக்களவு $\tau\delta t$ என்பதாகும். அதே சுழற்சி விசை τ, t_1 நேரத்திலிருந்து t_2 நேரம் வரை செயற்படுமாயின், கோணத் தாக்களவின் மொத்தம்,

$$\int_{t_1}^{t_2} \tau \, dt$$ ஆகும்.

589 கோணத் திசைவேகம் (Angular Velocity)

வினாடி நேரத்தில் ஏற்படும் கோண இடப்பெயர்ச்சியே கோணத் திசைவேகமாகும். தாளுக்குச் செங்குத்தாய் O என்னும் புள்ளியிலுள்ள ஓர் அச்சைச் சுற்றி ஒரு திடப்பொருள் சுழற்சி இயக்கம் கொள்கிறது என்போம். திடப் பொருளில் உள்ள A என்னும் துகளும் B என்னும் துகளும் t வினாடியில் A′, B′ ஆகிய புள்ளிகளை அடைகின்றன என்போம். t வினாடியில் இரு துகள்களும் நகர்ந்த தூரங்கள் வேறு வேறு. எனவே திசை வேகங்களும் வேறு வேறு. ஆனால் இவ்விரு துகள்களும் O-வில் θ என்னும் ஓரே கோணத்தையே ஏற்படுத்துகின்றன.



A-யின் திசைவேகம் $= v = \frac{AA'}{t}$ அல்லது $AA' = vt$

A-யின் கோணத் திசைவேகம் $\omega = \frac{\theta}{t}$

படத்தில் $\theta = \frac{AA'}{OA} = \frac{AA'}{r}$ (r என்பது அச்சிலிருந்து புள்ளியின் தூரம்).

எனவே $\omega = \frac{AA'}{rt} = \frac{vt}{rt} = \frac{v}{r}$ அல்லது $v = r\omega$

கோணத்திசை வேகத்தையும் அச்சிலிருந்து புள்ளியின் தூரத்தையும் பெருக்கினால் திசைவேகம் கிடைக்கிறது.

590 கோள்களின் இயக்கங்களுக்கான கெப்ளரின் விதிகள் (Kepler's laws of planetary motion)

கோள்களின் இயக்கங்களுக்கான மூன்று விதிகளைக் கெப்ளர் வகுத்துத் தந்தார். இவை ஒரு கோளைச் சுற்றி இயங்கும் துணைக்கோள்களுக்கும் பொருந்தும்.

முதல் விதி : ஒவ்வொரு கோளும் சூரியனை ஒரு குவியத்தில் கொண்ட நீள்வட்டப்பாதை ஒன்றில் இயங்குகின்றது.

இரண்டாவது விதி : சூரியனையும், கோளையும் இணைக்கும் கோடு சமகால அளவுகளில் சமப் பரப்பளவுகளை அலகிடுகிறது.

மூன்றாவதுவிதி : சூரியனிலிருந்து கோள்களின் தொலைவுகளின் மும்மடிகள் அவற்றின் சுழற்சி நேரங்களின் இருமடிகளுக்கு நேர்தகவிலிருக்கின்றன.

$$\frac{R_1^3}{R_2^3} = \frac{T_1^2}{T_2^2}.$$

இங்கு R_1, T_1 என்பன முதல் கோளின் தொலைவும், சுழற்சி நேரமுமாகும். R_2, T_2 என்பன இரண்டாவது கோளின் தொலைவும் சுழற்சி நேரமும் ஆகும். தொலைவு R-ஐ நீள்வட்டத்தின் பேரச்சில் (major axis) பாதியாகக் கொள்ள வேண்டும்.

591 சமஅழுத்தப் பரப்பு (Equipotential surface)

ஒரு பரப்பின்மீது அமைந்த எல்லாப் புள்ளிகளிலும் ஈர்ப்பழுத்தம் சமமாக இருப்பின் அப்பரப்பு சம அழுத்தப் பரப்பு என்று அழைக்கப்படுகிறது. m நிறை, r ஆரம் உள்ள ஒரு உள்ளீடற்ற கோளத்தின் மேற்பரப்பில் உள்ள எல்லாப் புள்ளிகளிலும் ஈர்ப்பழுத்தம் (-GM/r) சமமாக இருக்கும். எனவே இக்கோளத்தின் மேற்பரப்பு சம அழுத்தப் பரப்புஆகும். ஒரு சம அழுத்தப் பரப்பின் மீதமைந்த எந்த இரு புள்ளிகளுக்கிடையேயுமுள்ள ஈர்ப்பழுத்த வேறுபாடு சுழியாகும். எனவே, ஓரலகு நிறையொன்றை அப்பரப்பின்மீது நகர்த்துவதற்கு ஈர்ப்பு விசைக்கு எதிராக எவ்வித வேலையும் செய்ய வேண்டியதில்லை. அதாவது, சம அழுத்தப் பரப்பின்மீது ஒரு நிறையை நகர்த்தும்போது அதன் திசை ஈர்ப்புப்புலத்திற்கு செங்குத்தாக அமையும்.

592 சவ்வூடு பரவல் (Osmosis)

ஒரு சவ்வின் வழியே, ஒன்றுக்குள் ஒன்று விரவக்கூடிய இரு நீர்மங்களிடையே நிகழும் இடைவிரவல் சவ்வூடு பரவல் எனப்படும். இதை ஃபெஃப்பெர் (Pfeffer) என்பவர் முதன்முதலில் முறைப்படி ஆராய்ந்தார். சவ்வூடு பரவலை ஒரு பகுதிவிடு சவ்வைப் (semipermeable membrane) பயன்படுத்தி நிகழ்த்திக் காட்டலாம். இவ்வகைச் சவ்வு தேர்ந்து செலுத்துகை (selective transmission) எனும் இயல்புள்ளது. அது சில குறிப்பிட்ட பொருட்களின் மூலக்கூறுகளை மட்டுமே தன்னை ஊடுருவிச் செல்ல அனுமதித்து மற்றவகை மூலக்கூறுகளைத் தடுத்து விடும். தாவரங்களின் செல்சுவர்கள், மிருகங்களின் சிறுநீர்ப்பைகள (bladders) ஆகியவை இவ்வியல்புள்ளவை. மிருகங்களின் சிறுநீர்ப்பைத் தோலில் ஆல்கஹாலை நிரப்பி அதன் வாயை இறுகக் கட்டிவிட்டு, பையைத் தண்ணீர்த் தொட்டிக்குள் வைத்தால், அது சிறிது சிறிதாகப் பெருகிக் கொண்டேபோய், இறுதியில் வெடித்து விடும். அதற்குப் பதிலாக பையில் நீரை நிரப்பி ஆல்கஹாலுக்குள் வைத்தால் அது சுருங்கி விடும். இதிலிருந்து சிறுநீர்ப்பைத்தோல் ஆல்கஹாலைவிட நீரை அதிக அளவில் தன் ஊடே செல்ல அனுமதிப்பது எளிதாக விளங்கும். பன்றியின் சிறுநீர்ப்பைத் தோலைப் பயன்படுத்தி படிக உருப்பொருட்களைக் கூழ்ப் பொருட்களிலிருந்து கிரஹாம் பிரித்தெடுத்தார். இம்முறை சவ்வூடு பகுப்பு (dialysis) எனப்படும்.

593 சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் (Osmotic pressure)

சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் என்பது ஒரு சவ்வின் வழியாகக் கரைப்பான் பரவுதலைத் தடுக்கக் கரைசல் செலுத்தப்பட வேண்டிய அழுத்தத்திற்கு சமமாகும். இதன் மதிப்பு கரைசலின் தன்மை, அடர்வு, வெப்பநிலை ஆகியவற்றைப் பொறுத்தது. பெர்க்லி, ஹார்ட்லி ஆகியோர் 1906–ல் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தை அளவிட ஒரு கருவியையும் முறையையும் உருவாக்கினார்கள். சவ்வூடு பரவல் அழுத்த விதிகளாவன: 1. பெல்வரின் சோதனைகளிலிருந்து மின்னாற்பகுபடாப் பொருட்களின் (non-electrolytes) நீர்த்த கரைசல்களின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தமான P, அதன் அடர்வு C-க்கு நேர்த்தகவிலிருக்கும். அதாவது, வெப்பநிலை T மாறாத போது $P \alpha C$. மேலும், $C \alpha (1/V)$ ஆக இருக்கும். எனவே, $P \alpha (1/V)$, PV = ஒரு மாறிலி. இது வாயுக்களின் பாயிலின் விதியை ஒத்திருக்கிறது. 2. ஒரு கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் அதன் மெய்வெப்பநிலைக்கு நேர்தகவிலிருக்கும். அதாவது, C மாறாத போது $P \alpha T$; இது வாயுக்களின் சார்லஸ் விதியை ஒத்திருக்கிறது. 3. சமமான சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தைச் செலுத்தும் கரைசல்கள் ஐசோடோனிக் (isotonic), அல்லது, ஐசோமாடிக் (isomatic) கரைசல்கள் எனப்படும். 4. மின்னாற் பகுபடு

பொருட்களின் (electrolytes) கரைசல்கள் மின் பகுபடாப் பொருட்களின் கரைசல்களைவிட அதிகமாக சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தைக் கொடுக்கின்றன.

594 சவ்வுடு பரவல் அழுத்த விதிகள் (Laws of osmotic pressure)

கரைதிரவம் (solvant) ஊடுருவிச் செல்வதற்குத் தடையேதும் அளிக்காமலும், கரைபொருள் (solute) ஊடுருவுவதை முற்றிலும் தடுக்கும் வகையிலும் அமைந்து, கரைபொருளையும் கரை திரவத்தையும் பிரிக்கின்ற ஒரு சவ்வின் (membrane) வழியே, கரை திரவம் ஊடுருவுவதை சற்றே தடுத்து நிறுத்துவதற்குத் தேவையான அழுத்தம் சவவூடு பரவல் அழுத்தம் ஆகும். வெவ்வேறு செறிவுகள் கொண்ட கரைசல்களைப் பிரித்து நிற்கும் சவ்வின் வழியே, கரைதிரவத்தை ஊடுருவ அனுமதிக்காத வகையில், ஆனால் கரைபொருளையும், ஓரளவே கரைதிரவத்தையும் ஊடுருவ அனுமதிக்கும் வகையில் அளிக்கப்பட வேண்டிய அழுத்தம் எனவும் இதனைக் கூறலாம். இது சவ்வூடு பரவல் சரிவு (gradient) எனவும் அழைக்கப்படும். மின் பகுப்பற்ற ஒரு நீர்த்த கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்த விதிகள் :

1) வெப்பநிலை மாறாமல் இருக்கும்பொழுது, கொடுக்கப்பட்ட ஒரு கரைபொருள் கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தமானது (P) அதன் செறிவிற்கு (C) நேர்தகவிலிருக்கும். அதாவது, $P \propto C$ செறிவானது, பருமனுக்கு (V) எதிர் தகவிலிருப்பதால் ($C \propto (1/V)$), இது வாயுக்களுக்கான பாயில் விதியை [($P \propto (1/V)$)] ஒத்ததாகும்.

2) கொடுக்கப்பட்ட செறிவிற்கு, கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தமானது (P) அதன் தனி வெப்பநிலைக்கு (T) நேர்தகவிலிருக்கும். அதாவது $P \propto T$. இது வாயுக்களின் சார்லஸ் விதியை ஒத்ததாகும். மேற்கூரிய இரு விதிகளையும் இணைத்தால் $P \propto CT$ அல்லது, $P = KCT$, K என்பது ஒரு மாறிலியாகும்.

$$P = K(1/V)\,T \quad \text{அல்லது} \quad PV = KT$$

நீர்த்த கரைசல்களுக்கு, K என்ற மாறிலி, வாயு மாறிலியான R-ஐ முழுதும் ஒத்திருக்கும். எனவே $PV = RT$. இது வாயு நிலை சமன்பாடாகும். ஆகவே, மின் பகுப்பற்ற ஒரு நீர்த்த கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம், வெப்ப நிலை, மற்றும் பருமன் ஆகியவை வாயு விதிகளுக்கொத்த விதிகளுக்குட்பட்டவையாகும்.

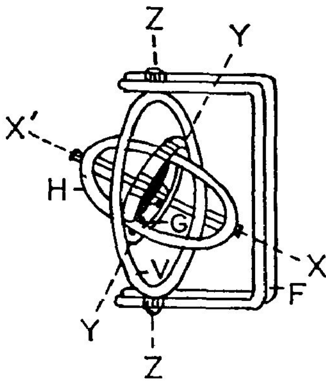
595 சுழற்சி ஆரம் (Radius of gyration)

புறவிசை ஏதேனுமொன்றின் தாக்குதல் இல்லாதவரை, பொருள் ஓய்வு நிலையில் இருக்கும் அல்லது ஒரு நேர்கோட்டில் சீரான இயக்கத்துடன் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும். இவ்வாறு தன்னிலையை மாற்றிக் கொள்ள இயலாத தன்மையே பொருளின் நிலைமம் (inertia) ஆகும். இதைப்போல, ஓர் அச்சைப் பற்றி சீராகச் சுழன்று கொண்டிருக்கும் பொருள், தொடர்ந்து தன்னிலையிலேயே நீடித்து நிற்கும் தன்மைக்கு 'சுழற்சி நிலைமம்' என்று பெயர். இந்த சுழற்சி நிலைமம், பொருளின் நிறை மற்றும் அந்தப் பொருளில் அடங்கியுள்ள துகள்களின் ஆரத் தொலைவு ஆகியவற்றைப் பொருத்துள்ளது. பல துகள்களின் திரளாக விளங்கும் M நிறையுடைய ஒரு பொருள் ஓர் அச்சைப்பற்றி சுழலுவதாகக் கொள்ளுவோம். அப்போது ஏற்படக் கூடிய சுழற்சி நிலைமம் எவ்வளவோ, அதே அள்வு சுழற்சி நிலைமம் உண்டாக்கக்கூடிய, M நிறையுடைய துகள் ஒன்று, அந்த அச்சினின்று எவ்வளவு ஆரத் தூரத்தில் இருக்க வேண்டுமோ, அந்தத் தூரத்திற்கு 'சுழற்சி ஆரம்' என்று பெயர். எனவே, ஒரு பொருளில் பரவலாக இருக்கும் துகள்கள் ஒன்று சேர்ந்து தோற்றுவிக்கும் சுழற்சி நிலைமம் எவ்வளவோ, அதே அளவு சுழற்சி நிலைமம் ஒரே துகள்

தோற்றுவிப்பதாகக் கொள்வோமானால், அத்துகளின் ஆரத் தூரத்தில் துகள்களின் ஒட்டுமொத்த நிறை குடிகொண்டு இருக்கிறது என்பது நன்கு புலனாகும்.

596 சுழற்சி நிலைப்பி (Gyrostat)

பளுவான வட்டத் தகடு ஒன்று, தன்னுடைய நிறைமையம் வழியாகவும், தன்னுடைய தளத்துக்கு செங்குத்தாகவும் அமைந்துள்ள அச்சாணி ஒன்றோடு சேர்ந்து, ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக அமைந்துள்ள மூன்று அச்சுகளிலும் கட்டின்றிச் சுழல ஏதுவாக அமைக்கப் பட்டுள்ள ஏற்பாட்டுக்கு சுழற்சி நிலைப்பி என்று பெயர். இந்த ஏற்பாடு அகப்புறச் சுழற்சி இயக்கத்தின் அடிப் படையில் செயற்படுகிறது. படத்தில் காட்டியபடி, G என்பது சுழற்சி நிலைப்பி ஆகும். இது சமச்சீர் அச்சோடு (XX) ஒன்றிய அச்சாணியோடு கட்டின்றிச் சுழலும். அச்சாணி பொருத்தப்பட்டுள்ள இந்த வட்டத் தகடு H என்ற வளையத்தில் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இந்த வளையம் XX அச்சுக்கு செங்குத்தாக உள்ள YY அச்சைப் பற்றிக் கட்டின்றி சுழலக்கூடும். சுழற்சி நிலைப்பி G -ம், வளையம் H-ம், XX, YY ஆகிய அச்சுகளுக்குச் செங்குத்தாக உள்ள ZZ என்ற அச்சைப் பற்றி சுழலக் கூடிய, V என்ற வளையத்தில் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. இந்த வளையம் நிலையான சட்டம் F-உள் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. சுழற்சி நிலைப்பி வேகமாக சுழலும் போது அதன் கோண உந்தம் மிக அதிகமாக இருக்கும். சுழற்சி விசை ஏதும் செயற்படாத நிலையில், அதன் சுழற்சி அச்சு, சட்டம் F-ஐப் பொருத்தமட்டில் மாறாது. ஆனால் சுழற்சிவிசை செயற்படுமாயின, சுழற்சி நிலைப்பி அகப்புறச் சுழற்சிக்கு உட்படும். அதனால் சுழற்சி அச்சு, சட்டம் F-ஐப் பொருத்தமட்டில், மாறும். ஆனால் கோண உந்தம் மிக அதிகமாக இருப்பதால், சுழற்சி அச்சு மிகவும் மெதுவாக மாறும். அதாவது சுழற்சி அச்சு நிலைப்புக் கொண்டிருப்பதாகத் தோன்றும். எனவே சுழற்சி இயக்கம் நிலைப்புக் கொள்ளுகிறது.



597 சுழற்சி விசை (Torque)

புறவிசைகளின் தாக்குதல் இல்லாமல் தன்னிச்சையாக இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் எந்த ஒரு பொருளுக்கும் இயல்பான நிலைகள் இரண்டாகும். ஒன்று, ஓய்வு நிலை; மற்றொன்று, ஒரு நேர்கோட்டில் சீரான இயக்கத்துடன் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் நிலை. ஓய்வு நிலையில் பொருளின் திசைவேகம் சுழி ஆகும். சீரியக்க நிலையில் பொருள் கொண்டிருக்கும திசைவேகம் சீரான ஒன்றாகும். புறவிசையின் தாக்குதலால் பொருளின் திசைவேகம் மாறுபடுகின்றது; அது முடுக்கம் பெறுகிறது. இந்த முடுக்கம் புறவிசைக்கு நோதகவில் இருக்கிறது. இதைப்போல, ஓர் அச்சைப் பற்றி சீராகச் சுழன்று கொண் டிருக்கும் பொருள், சீரான கோணத் திசைவேகம் கொண்டு இயங்குவதாக சொல்லப்படும். புறவிசையின் தாக்குதல் காரணமாக இந்தக் கோணத் திசைவேகம் மாறுபடுகிறது. பொருள் கோண முடுக்கம் பெறுகிறது. இந்த முடுக்கம் புறவிசைக்கு நேர்தகவில் இருக்கிறது. இந்தப் புறவிசைக்கு 'சுழற்சி விசை' என்று பெயர். எனவே, ஒரு சுழலும் பொருளின்மீது செயற்பட்டு, அப்பொருளின் சீரான கோணத் திசைவேகத்தை மாற்றுகின்ற, அல்லது மாற்ற முயலுகின்ற, விசைக்கு 'சுழற்சி விசை' என்று பெயர்.

598 சுற்றுப்பாதைத் திசைவேகம் (Orbital velocity)

புவியிலிருந்து ஏவப்பட்ட ஒரு செயற்கைக்கோள் நிலையான சுற்றுப்பாதை ஒன்றில் அமைந்து புவியைச் சுற்றிவரத் தேவைப்படும் திசைவேகமே சுற்றுப்பாதைத் திசைவேகம் என்றழைக்கப்படுகிறது. இதன் மதிப்பு 8 கி.மீ./வினாடி ஆகும்.

புவி சூரியனைச் சுற்றுவதற்கும், நிலவு புவியைச் சுற்றுவதற்கும் காரணமான அடிப்படை விதிகளே செயற்கைக் கோள் புவியைச் சுற்றி வருவதற்கும் பொருந்தும். செயற்கைக் கோள் குறிப்பிட்ட சுற்றுப்பாதையில் சுற்றி வர வேண்டுமாயின் அதன்மீது செயற்படும் மைய விலக்கு விசையும், புவி செயற்கை கோளை ஈர்க்கும் விசையும் சமநிலையில் இருக்க வேண்டும்.எடுத்துத்காட்டாக செயற்கைக் கோளின் நிறை m, புவியின் நிறை M, புவியின் ஆரம் R, செயற்கைக் கோளின் சுற்றுப்பாதையின் திசைவேகம் v என்றும் இருப்பின், செயற்கைக் கோளின் மீது செயற்படும் மேற்கூறிய விசைகள் சமநிலையில் இருக்கத் தேவையான நிபந்தனையின்படி

$$\frac{mv^2}{R} = \frac{mMG}{R^2}.$$

இதிலிருந்து $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$.

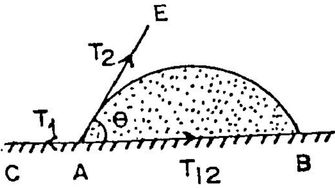
ஆனால் $mg = \frac{mMG}{R^2}$

என்பதால் சுற்றுப்பாதை திசைவேகம் $v=\sqrt{gR}$, இங்கு g என்பது புவிஈர்ப்பு முடுக்கம். ஈர்ப்பு விசையானது, புவியிலிருந்து செயற்கைச் கோளின் தொலைவு அதிகரிக்கும்போது குறைகிறது. எனவே புவியிலிருந்து அதிகத் தொலைவில் அமைந்து சுழலும் செயற்கை கோளின் திசைவேகம் குறைவாக இருந்தால் போதும். புவிக்கு அருகே அமைந்து சுழல செயற்கைக்கு கோளுக்கு அதிகத் திசைவேகம் தேவைப்படும்.

$v=\sqrt{gR}$ என்பதில் $g = 9.8$ மீ/வினாடி^{2}, $R = 6.38 \times 10^6$ மீ என்ற மதிப்புகளை பதிலீடு செய்தால் v = 8 கி.மீ./வினாடி என்ற மதிப்பினைப் பெறும். சுற்றுப்பாதை திசை வேகத்தைவிட அதிகமான திசைவேகத்துடன் செல்லும் ஒரு பொருள் நீள்வட்டப் பாதையில் (elliptical orbit) சுற்றும். பொருளின் திசைவேகம், விடுபடு திசைவேகமான 11.2 கி.மீ /வினாடி என்றோ அல்லது அதிகமாகவோ இருப்பின் பொருள் புவி ஈர்ப்புப் புலத்திலிருந்து முழுதும் விடுபட்டுத் தப்பிச் சென்றுவிடும்.

599 தொடு கோணம் (Angle of contact)

ஒரு திரவமும், அதனுள் பகுதி அமிழ்ந்துள்ள ஒரு திடப் பொருள் பரப்பும் அல்லது கொள்கலப் பரப்பும் தொட்டுக் கொண்டுள்ள கோட்டின்மீது திரவப்பரப்புக்கும் திரவத்தினுள் உள்ள திடப்பொருள் பரப்புக்கு மிடையேயுள்ள கோணம் சேர் கோணம் எனப்படும். ஒரு திடப் பரப்பு CD-யின்மேல், ஒரு திரவத்தின் AB என்ற துளியானது சமநிலையிலிருப் பதாகக் கொள்வோம். A என்ற பரப்பு சேர்புள்ளியி லிருந்து துளியின் பரப்பிற்கு AE என்ற தொடுகோடு வரையவும். பிறகு $E\hat{A}B$ என்ற கோணம் சேர் கோணம் (Θ) எனப்படும். துளியானது சமநிலையில் இருப்பதால், அதன்மேல் இயங்கும் எல்லா விசைகளின் தொகுபயன் விசை, எந்தத்திசையில் கூறுபாடு செய்தாலும், சுழியாக இருக்க வேண்டும்.



T_1, T_2 மற்றும் T_{12} முறையே திண்மப்பொருள் – காற்று, திரவம் – காற்று மற்றும் திண்மப் பொருள் – திரவப் பரப்பிடை இழுவிசையாகும். வேறு எந்த விசையும் துளியில் இயங்கவில்லை என வைத்துக்கொண்டால், CD க்கு இணையாக இடைமட்ட திசையில் விசைகளை கூறுபாடு செய்தால்

$$T_1 - T_2 \cos\theta - T_{12} = 0$$

அல்லது $T_2 \cos\theta = T_1 - T_{12}$

அல்லது $\cos\theta = (T_1 - T_{12} / T_2)$

$T_1 > T_{12}$ எனில் $\cos\theta$ நேர்மறை ஆகும்.

θ என்பது 0^o க்கும் 90^o – க்கும் இடையில் இருக்கும்.
$T_1 < T_{12}$ எனில், $\cos\theta$ எதிர்மறை ஆகும்.

θ என்பது 90^o க்கும் 180 க்கும் இடையில் இருக்கும். இது, பாதரசத் துளி கண்ணாடியில் நிற்கும்போது நிகழ்கிறது. θ – வின் மதிப்பு சுமார் 140^o ஆகும். ஆனால் நீர்த்துளி கண்ணாடியை நனைத்துப் பரவும்போது சேர்கோணம் சுழியாகும்.

600 நியூட்டனின் ஈர்ப்பு விதி (Newton's law of gravitation)

பேரண்டத்தில் உள்ள பருப்பொருளின் ஒவ்வொரு துகளும் மற்ற துகள்களை ஒரு விசையுடன் ஈர்க்கின்றது. அவ்வாறு ஒன்றுக்கொன்று ஈர்த்துக் கொள்ளும் ஈர்ப்பு விசையானது அத்துகள்களின் நிறைகளின் பெருக்குத்தொகைக்கு நேர்தகவிலும், துகள்களுக்கு இடையேயுள்ள தொலைவின் இருமடிக்கு எதிர்தகவிலும் இருக்கும் என்பதே நியூட்டனின் ஈர்ப்பு விதியாகும். இந்த ஈர்ப்பு விசை $F \alpha (m_1m_2)/r^2$ அல்லது $F = G (m_1m_2)/r^2$ ஆகும். இங்கு m_1, m_2 என்பன ஈர்க்கும் இருதுகள்களின் நிறைகள், G என்பது பொது நிறையீர்ப்பு மாறிலி (அ) நிறையீர்ப்பு மாறிலி (universal gravitational constant) ஆகும்.

$m_1 = m_2 = 1$ கி. கிராம், $r = 1$ மீட்டர் எனக் கொண்டால் $F = G$ என்றாகிறது. எனவே, நிறையீர்ப்பு மாறிலி என்பதை 'ஓரலகு தொலைவில் வைக்கப்பட்ட, ஒவ்வொன்றும் ஓரலகு நிறை உள்ள இருதுகள்களுக்கிடையேயான ஈர்ப்பு விசை' என வரையறுக்கலாம். நிறையீாபபு மாறிலியின் பரிமாணங்கள் $M^{-1}L^3T^{-2}$ ஆகும். MKS முறையில் G–இன் அளவு $(6.67 \pm 0.01) \times 10^{-11}$ நியூட்டன் மீ^{2} /(கி.கி)^2 ஆகும். இந்த நிறையீர்ப்பு மாறிலியை விசையின் வானியல் அலகு (astronomical unit of force) என்றும் சில வேளைகளில் கூறுவதுண்டு.

601 நில அதிர்வு தாக்காத கட்டிடங்கள் (Quake proof buildings)

இம்மாதிரியான கட்டிடங்கள் அடிமுதல் நுனிவரை தொடர்ச்சியானதாக (continuity from top to bottom) இருக்கும்படி கட்டப்பட வேண்டும். அதேவேளையில் கட்டிட அடித்தளத்தில் (basement) மணல் போன்ற பொருட்களை அதிகமிட்டுக் கட்ட வேண்டும். அதிர்வு தாக்கும நேரத்தில் இப்பொருட்கள் இலகுவாகச் செயல்பட்டு (cushioning) அதிர்வலைகளின் ஆற்றலைச் சிதறடிக்கும்.

602 நிலைம நிறை/ஈர்ப்பு நிறை (Inertial / Gravitational mass)

(i) நிலைம நிறை (Inertial mass)

இயக்கம் பற்றிய நியூட்டனின் இரண்டாம் விதிப்படி (F = ma) பொருளின்மீது விசை செயற்படின் பொருள் முடுக்கமடைந்து இயங்கும். அம்முடுக்கம், அப்பொருளின் நிலைமத்தைப் பொறுத்தது. அதிக நிலைமம் உள்ள பொருளில் ஏற்படும் முடுக்கம் குறைவானதாகும். பொருளை முடுக்கமடைய செய்யத் தேவைப்படும் முயற்சியின் அளவு நிலைம நிறை எனப்படும்.

பொருளின் நிலைம நிறை (m) = $\frac{F}{a}$ (F, விசை; a, முடுக்கம்)

(ii) ஈர்ப்பு நிறை (Gravitational mass)

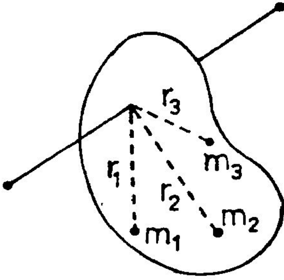
ஒரு பொருளின் எடை w, அப்பொருளைப் புவி தன்னை நோக்கி ஈர்க்கும் விசையைப் பொறுத்தது. m என்பது ஒரு பொருளின் நிறையாகவும், ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் g என்பது ஈர்ப்பு முடுக்கமாகவும் இருந்தால், அந்த இடத்தில் ஈர்ப்பு நிறை

$$m = \frac{\text{பொருளின் எடை}}{\text{ஈர்ப்பு முடுக்கம்}} = \frac{w}{g}.$$

அனைத்துப் பொருட்களுக்கும் நிலைம நிறை, புவி ஈர்ப்பு நிறைக்குச் சமமாக இருக்கும்.

603 நிலைமத் திருப்புதிறன் (Moment of inertia)

சீரான வேகத்துடன் நேர்கோட்டுப் பாதையில் இயங்கும் ஒரு பொருள் புற விசை ஒன்று தாக்காதவரை தன் திசையையும் வேகத்தையும் மாற்றிக் கொள்வதில்லை. இயங்கு நிலையில் உள்ள ஒரு பொருளின் மாற்றத்திற்கு எதிரான இப்பண்பை நிலைமம் என்கிறோம். பொருளின் நிறை அதிகமாகும்போது நிலைமத்தின் மதிப்பும் அதிகமாகிறது. ஓர் அச்சைச் சுற்றி ஒரு திடப்பொருள் சுழன்று கொண்டிருக்கும் போதும் அதில் மாற்றத்திற்கு எதிரான நிலைமப் பண்பு செயற்படுகிறது. இங்கு நிலைமத்தின் மதிப்பு பொருளின் நிறையை மட்டுமல்லாமல் சுழலச்சைச் சுற்றி நிறை எவ்வாறு விரவி இருக்கிறது என்பதையும் பொறுத்திருக்கிறது. சுழலியக்கத்தில் மாற்றத்திற்கு எதிரான இந்த நிலைமப் பண்பின் அளவை சுழலச்சைச் சுற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன் என்கிறோம். நேர்கோட்டு இயக்கத்தில் நிறை ஆற்றும் பங்கை சுழலியக்கத்தில் நிலைமத் திருப்புதிறன் ஆற்றுகிறது.



$m_1, m_2, m_3, \ldots$ என்பன ஒரு திடத்தொகுப்பில் உள்ள துகள்கள். இவை சுழலச்சிலிருந்து $r_1, r_2, r_3, \ldots$ தூரங்களில் இருந்தால், அச்சைச் சுற்றிய தொகுப்பின் நிலைமத் திருப்புதிறன் $I = m_1r_1^2 + m_2r_2^2 + m_3r_3^2 + \ldots$

$$I = \sum mr^2.$$

604 நீர்மத்தில் விரவலுக்கான கிரஹாமின் விதி (Graham's law of liquid diffusion)

விரவல் எனும் நிகழ்ச்சியை 1851–ல் கிரஹாம் முதன்முதலாக முறைப்படி ஆராய்ந்து, குறிப்பிட்ட நேர இடைவெளிகளில் கரைசலிலிருந்து நீருக்குள் விரவிச் செல்லும் கரைபொருளின் அளவை நிர்ணயித்தார். கிரஹாம் தனது சோதனைகளிலிருந்து பின்வரும் முடிவுகளைக் கண்டறிந்தார்: 1. விரவல் வீதம் (rate of diffusion) கரைபொருளின் தன்மையைப் பொறுத்தது; 2. வெப்பநிலை உயர்ந்தால் விரவல் வீதமும் அதிகரிக்கிறது; 3. விரவலினால் இரு கரைசல்களின் கலவையிலுள்ள உப்புக்களின் கரைவுத் தகவு மாறிவிடுகிறது; 4. ஒரே உப்பில் வெவ்வேறு அடர்வுள்ள கரைசல்கள் அவற்றின் அடர்வுக்கு நேர்தகவிலுள்ள வீதங்களில் விரவுகின்றன; 5. கரைசல்கள் இரு வகைப்படுகின்றன: (i) கனிம அமிலங்கள் (mineral acids) உப்புகள், சர்க்கரை முதலியவற்றின் படிகவுருப்பொருள் (crystalloids) கரைசல்கள் – இவை தீவிரமாக விரவக் கூடியவை; (ii)

கூழ்ப்பொருட்கள் (colloids) எனப்படும் ஆல்புமன், கோந்து, ஜெலாடின், ஜெல்லி ஆகியவற்றின் கரைசல்கள் - இவை படிக உருப்பொருட்களைவிட மிக மெதுவாக விரவுபவை. பாய்மங்களில் ஏற்படும் விரவலை, மூலக்கூறுகளின் இயக்கக் கோட்பாட்டின் (kinetic theory of molecules) அடிப்படையில் மிக எளிமையாக விளக்கலாம்.

605 **நுண்புழை ஏற்றம்** (Capillary rise)

நுண்புழை ஈர்ப்புத் தன்மை வெளிப்படுமாறு மிகக் குறுகிய விட்டமுள்ள ஒரு நுண்புழையுள் திரவம் நுழைந்து உயர்வது நுண்புழை ஏற்றம் ஆகும். ஒரு திடப்பொருளுடன் தொட்டுக் கொண்டுள்ள ஒரு திரவப் பரப்பு, திரவ மூலக்கூறிடை விசைகளுக்கும், திரவ திடப்பொருள் மூலக்கூறிடை விசைகளுக்கும் இடையேயுள்ள சார்பு விசையால் (relative force) மேல்நோக்கியோ அல்லது கீழ்நோக்கியோ தள்ளப்படுவது நுண்புழைத் தன்மை (capillarity) அல்லது நுண்புழைச் செயல் (capillary action) எனப்படும். கண்ணாடியை நனைக்கும் தண்ணீர் போன்ற திரவங்களுக்கு சேர்கோணம் சுழியாகும். ஆகையால் பிறைத்தளம் (meniscus) அரைக் கோள வடிவில் இருக்கும். சேர் கோணம் 90° ஆக இருந்தால் திரவத்தில் நுண்புழை விளைவு இருக்காது. சேர் கோணம் 90°க்கு அதிகமாக இருந்தால், பிறைதளம் குவியாக இருக்கும்.

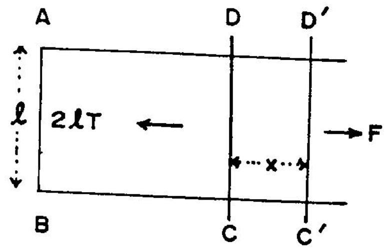
606 **நுண்புழைத் தன்மை அலைகள்** (Capillarity waves)

காற்று, கடல்நீர் அல்லது ஏரிநீர் போன்ற இரு பாய்பொருட்களின் (fluids) பொதுப்பரப்பில் தோன்றும் அலைகள் நுண்புழைத் தன்மை அலைகள் எனப்படுகின்றன. இவற்றின் முதன்மை மீள்விசை (principal restoring force) பரப்பு இழு விசையால் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. இவை 1.7 செ. மீ. நீளத்தை விடக் குறைவான நீளம் கொண்டவை. இவற்றைக் குற்றலைகள் (ripples) எனவும் கூறலாம்.

607 **பரப்பு ஆற்றல்** (Surface energy)

ஓரலகுப் பரப்பின் ஆற்றல் பரப்பு ஆற்றல் எனப்படும். இது பரப்பு இழுவிசைக்கு எண்ணில் சமமாக இருக்கும். பரபபு இழுவிசைக்கு எதிராக செய்யப்படும். செயல்நிலை ஆற்றலாக திரவத்தில் சேமித்து வைக்கிறது. ஒரு தொகுப்பு அதன் நிலை ஆற்றலை எபபொழுதும் சிறுமத்தில் வைத்துக்கொள்ள விழைவதால் ஒரு திரவத்தின் பரப்பு எப்பொழுதும் சிறும பரப்பிலேயே இருக்கும்.

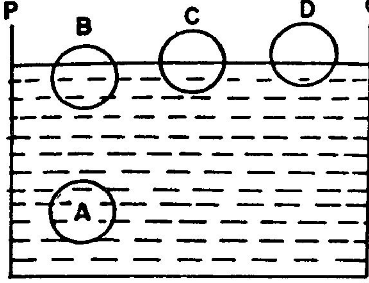
பரப்பு ஆற்றலும், பரப்பு இழுவிசையும் எண்ணில் சமம் என்பதை பின்வருமாறு நிரூபிக்கலாம். ABCD என்ற செவ்வக சட்டத்தில் சோப்பு நீரால் ஆன ஒரு மெல்லிய ஏடு உருவாக்கப் பட்டிருப்பதாக வைத்துக் கொள்வோம். CD என்பது அதன் ஒரு பக்கம். T என்பது பரப்பு இழுவிசை. AB = CD = l. பரப்பு இழுவிசையால் CD-யின் மேல் உள்ள விசை 2lT ஆகும். (ஏனெனில் மெல்லிய ஏட்டிற்கு இரு பக்கங்கள் உள்ளன). இவ்விசை காரணமாக, மெல்லிய ஏடு சுருங்க விழையும். இந்த ஏடு சம நிலையிலிருக்க, சமமான மற்றும் எதிரான ஒரு விசையை T (F) CDயின் மேல் செலுத்த வேண்டும். இப்பொழுது மெல்லிய ஏடானது CD யிலிருந்து C'D' க்கு x அளவு நீட்டப்பட்டால் இதற்கு F செய்த வேலை = 2lT x ஆகும். இபபொழுது ஏற்படட அதிகப்படியான



பரப்பளவு = 2lx ஆகும். ஆகையால் ஓரலகு பரப்பு அதிகமாக, செய்யும் வேலை = (2lxT / 2lx). ஆகவே, பரப்பு ஆற்றலும் பரப்பு இழு விசையும் சமம் (எண்ணில்).

608 *பரப்பு இழுவிசை* (Surface tension)

ஒரு திரவத்தின் வெளிப்பரப்பைக் குறைக்க முயலும் விசை பரப்பு இழுவிசை ஆகும். குறிப்பாக, அப்பரப்பின்மீது ஓரலகு நீளமுள்ள ஒரு கோட்டின்மீது அதற்கு செங்குத்தாக செயற்படும் விசை பரப்பு இழுவிசை எனப்படும். இதனைப் பரப்புகளிடை விசை (interfacial force), பரப்பு இழுதிறன் (interfacial tension) எனவும் கூறலாம். பரப்பு இழுவிசை, திரவங்கள், திடப்பொருளை நனைத்தல் அல்லது நனைக்காதிருத்தல், நுண்புழை வழியே ஏற்றம், திரிகள் வழியே மேற்செல்லல், திரவ மேற்பரப்பின் வளைவு ஆகியவற்றைத் தோற்றுவிக்கிறது. அழுக்கை சோப்பு நீக்கும் விதம், உறை பனிப்பொதிவு (frost) தோன்றும்விதம் ஆகியவை பரப்பு இழுவிசையைப் பொருத்து அமைகின்றன.



லாப்லாஸ் என்ற அறிவியல் அறிஞர் பரப்பு இழுவிசைக்கு ஒரு விளக்கம் தந்தார். வாயுக்களின் இயக்கக் கொள்கையை திரவங்களுக்குப் பயன்படுத்தி பரப்பு இழுவிசையை விளக்கினார். PQ என்ற ஒரு தொட்டியில் திரவம் இருப்பதாகக் கொள்வோம். திரவத்தின் நான்கு மூலக்கூறுகள் A, B, C மற்றும் D ஆகும். அதனைச் சுற்றி பாதிப்பு கோளம் வரையப்பட்டுள்ளது. A-யின் பாதிப்புக் கோளம் (sphere of influence) முழுமையாக திரவத்தின் உள்ளே இருப்பதால் , அது பாதிப்பு கோளத்திலிருக்கும் மற்ற மூலக்கூறுகளால் சரிசமமாக எல்லாத் திசைகளிலிருந்தும் ஈர்க்கப்படுகிறது. இதனால் தொகுபயன் ஒருங்கொட்டும் விசை அதன்மேல் இராது. ஆகவே அதற்கு வெப்ப திசைவேகம்தான் இருக்கும். மாறாக B மூலக்கூறின் பாதிப்பு கோளம் 4ல் 3 பங்கு திரவத்தின் உள்ளேயும் 1 பங்கு திரவத்திற்கு மேலேயும் இருக்கிறது. திரவத்தினுள்ளேயுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை திரவத்திற்கு மேலேயுள்ள ஆவி மூலக்கூறுகளைக்காட்டிலும் அதிகமாக இருப்பதால், கீழ்நோக்கி இழுக்கும் ஈர்ப்புவிசை அதிகமாக இருக்கும். ஆகையால் தொகுபயன் கீழ்நோக்குவிசை B ல் இயங்கும். C ல்,பாதிப்புகோளம் பாதி திரவத்திலும் மறுபாதி திரவத்திற்கு வெளியிலேயும் இருக்கிறது. கீழ்ப்பகுதியில் (அதாவது திரவப்பகுதியில்) திரவ மூலக்கூறுகளும், மேற்பகுதியில் ஆவிமூலக்கூறுகளும் இருப்பதால் தொகுபயன் கீழ்நோக்கு விசை இதில் பெருமமாக இருக்கும். இந்த கீழ்நோக்கு விசைதான் பரப்பு இழுவிசையாகும். D என்ற மூலக்கூறில், பாதிப்புகோளத்தின் ஒரு சிறு பகுதியேதிரவத்திலிருப்பதால் கீழ்நோக்கு விசை குறையும். பாதிப்புகோளம் முழுவதும்திரவத்திற்கு வெளியேயிருப்பதால், மூலக்கூறின்மேல் கீழ்நோக்கு விசையே இருக்காது.

இதிலிருந்து திரவத்தின் பரப்பு முழுவதிலும் மூலக்கூறுகளின் இடையே உள்ள ஈர்ப்பின் காரணமாக, கீழ்நோக்கு விசை ஒன்று எப்பொழுதும் இயங்கிக் கொண்டிருக்கிறது என்றும், இதுவே திரிகள் வழியே எண்ணெய் ஏறுதல், சோப்பு அழுக்கை போக்கும் விதம் ஆகியவற்றிற்குக் காரணமாக இருக்கிறது எனவும் அறியலாம்.

609 *பரிமாணங்கள்* (Dimensions)

நீளம், நிறை, நேரம் ஆகிய அடிப்படை அலகுகளின் உயர் மடிகளாக இயற்பியல் அளவினங்களைக் குறிப்பிடுவதைப் பரிமாணங்கள் என்பர். எடுத்துக்காட்டாக, இரு நீளங்களைப் பெருக்கிப் பரப்பை அளவிடுகிறோம். எனவே பரப்பின் அலகு என்பது

நீளத்தின் அலகின் இருமடியைப் பொறுத்திருக்கிறது. இதுபோலவே கன அளவின் அலகு என்பது நீளத்தின் மும்முடியைப் பொருத்திருக்கிறது. பொதுவில் ஓர் இயற்பியல் அளவினத்தின் வழி அலகானது நீளத்தின் a – யாவது மடியையும், நிறையின் b–யாவது மடியையும், நேரத்தின் c–யாவது மடியையும் பொறுத்திருக்கிறது என்றால், அந்த அளவினம் நீளத்தில் a பரிமாணங்களையும், நிறையில் b பரிமாணங்களையும், நேரத்தில் c பரிமாணங்களையும் கொண்டுள்ளது எனலாம். இந்த உண்மையைக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிக்கலாம். $[Q] = L^aM^bT^c$. சதுர அடைப்புக் குறிக்குள் உள்ள Q என்பது குறிப்பிட்ட இயற்பியல் அளவினத்தின் வழி அலகு. LMT ஆகியவை நீளம், நிறை, நேரம் ஆகியவற்றின் அடிப்படை அலகுகள். எனவே பரப்பின் பரிமாணம் L^2; கன அளவின் பரிமானம் L^3 ஆகும். ஓர் இயற்பியல் அளவினமானது நான்கு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட அளவினங்களைப் பொறுத்திருக்கும்போதும், கோண மற்றும் கோவைகளைக் கொண்டிருக்கும்போதும் அந்த அளவினங்களுக்குப் பரிமாணங்கள் எழுத முடியாது.

610 பரிமாண வாய்பாடு (Dimensional formula)

ஓர் இயற்பியல் அளவினத்தின் அலகையும் அடிப்படை அலகுகளையும் இணைக்கும் சமன்பாட்டை பரிமாணச் சமன்பாடு என்கிறோம். எ.கா. $[Q] = L^aM^bT^c$.

$L^aM^bT^c$ என்கிற வடிவிலான கோவை அந்த அளவினத்தின் பரிமாண வாய்பாடு ஆகும். இயற்பியல் அளவினங்களுக்கு இடையேயான உறவுகளிலிருந்து பரிமாணச் சமன்பாடுகளைத் தருவிக்க முடியும். சில எடுத்துக்காட்டுகள் :

1. செவ்வகத்தின் பரப்பு = நீளம் x அகலம்
   [பரப்பு] = $[L] \times [L] = L^2$
   [பரப்பு] என்பது பரப்பின் பரிமாணம் என்பதைக் குறிக்கிறது.
2. [திசைவேகம்] = தூரம் / நேரம் = $\frac{[L]}{[T]} = LT^{-1}$
3. [முடுக்கம்] = திசைவேக மாற்றம் / நேரம் = $\frac{[LT^{-1}]}{[T]} = LT^{-2}$
4. [விசை] = நிறை x முடுக்கம் = $[M][LT^{-2}] = LMT^{-2}$
5. [வேலை] = விசை x தூரம் = $[LMT^{-2}][L] = L^2MT^{-2}$
6. [அதிர்வெண்] = 1 / நேரம் = $\frac{1}{[T]} = T^{-1}$
7. [பிளாங்க் மாறிலி] = ஆற்றல்/அதிர்வெண் = $\frac{[L^2MT^{-2}]}{[T^{-1}]} = L^2MT^{-1}$

சமன்பாடுகளைத் தருவித்தல், சரிபார்த்தல், ஓர் அலகுமுறையிலிருந்து இன்னோர் அலகு முறைக்கு மாற்றுதல் போன்றவற்றிற்குப் பரிமாணச் சமன்பாடுகள் பயன்படுகின்றன.

611 பருமக் குணகம் (Bulk modulus)

ஒரு பொருளின் முழு மேற்பரப்பின்மீதும் செங்குத்தாகவும் (normally), சீராகவும் (uniformly) ஒரு விசை செயற்படின் அதன் கன அளவில் மட்டும் மாற்றம் ஏற்படும். அதேவேளையில் அதன் உருவ அமைப்பில் (shape) எவ்வித மாற்றமும் இராது. ஓரலகு பரப்பில் ஏற்படும் விசை இறுக்கம் என்றும், ஓரலகு கன அளவில் ஏற்படும் மாற்றம் திரிபு என்றும், இதனிரண்டிடையே உள்ள தகவு பருமக் குணகம் (K) என்றும் அழைக்கப்படும்.

612 பாகியல் மற்றும் பாகியல் கெழு (Viscosity and coefficient of viscosity)

ஒரு நிலையான சமதளப்பரப்பின் மேல் அருவிக்கோட்டு இயக்கத்தில் செல்லும் நீர்மத்தைக் கருதுவோம். சமதளப்பரப்போடு தொட்டுக் கொண்டிருக்கும் நீர்மத்தின் படலம் நிலையாகவும் அதற்கு மேலேயுள்ள படலங்கள் சிறிது சிறிதாக அதிகரிக்கும்

திசைவேகங்களுடனும் ஓடிக் கொண்டிருக்கும். எந்த ஒரு படலத்தைக் கருதினாலும் அதற்குக் கீழேயுள்ள படலம் மெதுவாகவும் மேலேயுள்ள படலம் வேகமாகவும் செல்லும். எனவே வேகமாகச் செல்லும் படலம் இப்படலத்தை இழுத்துச் செல்லவும் மெதுவாகச் செல்லும் படலம் இப்படலத்தைப் பின்னுக்கு இழுக்கவும் முயல்கின்றன. இவ்வாறு படலங்கள் தமக்குள் இருக்கும் சார்புத் திசைவேகத்தினைக் குறைத்துக்கொள்ள முயல்கின்றன. இதனால் படலங்களின் மேல் தொகுவியலாக ஒரு விசை செயற்பட்டு பின்னிழுப்பு நிகழ்ச்சியை செயற்படுத்துகின்றது. இவ்வாறு பின்னே தள்ளும் விசையை எதிர்த்து ஈடுசெய்யக் கூடிய வெளிவிசை ஒன்று செயற்பட்டால்தான் படலங்களுக்கு இடையே சார்பியக்கம் நடைபெறமுடியும், நீர்மம் பாயும். ஒரு நீர்மம் தனது வெவ்வேறு படலங்களுக்கு இடையிலுள்ள சார்புத் திசைவேகத்தை எதிர்த்தளிக்கும் இவ்வியல்பு பாகியல் அல்லது உள்ளிட உராய்வு எனப்படும்.

ஒரு நீர்மப் படலத்தின் மேல் தொடுவியலாக செயற்படும் அல்லது பின்னிழுக்கும் விசை படலத்தின் பரப்பளவு A-க்கு நேர்தகவிலும் அதன் திசைவேகத்திற்கு (V) நேர்தகவிலும் நகரா நிலையில் உள்ள படலத்திலிருந்து உள்ள தொலைவு x-க்கு எதிர்தகவிலும் இருக்கும். எனவே இவ்விசையைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டின் மூலம் காட்டலாம்.

$$F = -\eta\,[Av/x]$$

இச்சமன்பாட்டில் ' η ' என்பது நீர்மத்தின் தன்மையைப் பொறுத்த ஒரு மாறிலி; இதனைப் பாகியல் கெழு என அழைப்பர். A ஒரு சதுர அலகு என்றும் $(dv/dx) = 1$, $(\frac{v}{x}) = 1$, எனவும் கொண்டால் $F = -\eta$ அதாவது, ஒரு நீர்மத்தின் பாகியல் கெழு என்பது அலகு திசைவேகச் சரிவைப் பராமரிக்கப் பயன்படுவதும் அலகுப் பரப்பின் மேல் செயற்படுவதும் ஆகிய தொடுவியலான விசை ஆகும்.

613 ***பாய்சான் தகவு*** (Poisson's ratio)

ஒரு முனையில் பிணைக்கப்பட்டு மறுமுனையில் எடையேற்றப்படும் கம்பி நீட்சியடைகிறது; அப்போது அதன் நீளத்திற்குச் செங்குத்துத் திசையில் சுருக்கம் ஏற்படுகிறது. இப்படிக் கம்பியின் நீளத்திற்குச் செங்குத்துத் திசையில் ஏற்படும் (நீளக் குறைவு) திரிபிற்கும் (β, lateral strain), கம்பியின் நீளத்தில் ஏற்படும் (நீட்சி) திரிபிற்கும் (α, linear or tangential strain) இடையிலுள்ள தகவை பாய்சான் தகவு σ என்பர்; அதாவது, $\sigma = \beta/\alpha$. பாய்சான் தகவு யங் குணகம் y, பருமக் குணகம் k, விறைப்புக் குணகம் n எனும் மூன்று மீட்சியியல் குணகங்களோடு

$$\sigma = \frac{3k - 2n}{6k + 2n}, \qquad \sigma = \frac{y}{2n} - 1$$

என்றவாறு தொடர்புடையதாகும். பாய்சான் தகவின் மதிப்பு 0.1 க்கும் 0.5 க்கும் இடையே உள்ளது. σ எதிர்மதிப்பைப் பெறாது. (கம்பியின் நீளம் அதிகரிக்கும்போது, கம்பியின் பக்கவாட்டு அகலம் அதிகரிப்பதில்லை). $\sigma = 0.5$ என்றால், பரும மாறுதல் இல்லை என்றும், கம்பி முழுமையான சுருக்கமடையவில்லை என்றும் பொருள். நடைமுறையில் σ–வின் மதிப்பு 0.2 க்கும் 0.4 க்கும் இடையே இருக்கக் காண்கிறோம்.

614 ***பாய்ம நிலையியல் அழுத்தம்*** (Hydrostatic pressure)

நிலையாய் உள்ள எந்த ஒரு பாய்மமும் தான் தொட்டுக் கொண்டுள்ள ஒரு பரப்பின்மீது அதற்கு செங்குத்துத் திசையில் செலுத்தும் விசையே பாய்ம அழுக்கம் (liquid thrust) எனப்படும். ஒரு பாத்திரத்தில் ஒரு நீர்மத்தை எடுத்துக் கொண்டால் அதன் எடை முழுவதும் அப்பாத்திரத்தின் அடிப்பரப்பின்மீது செங்குத்தாகச் செயற்படும். எனவே, அந்த

அடிப்பரப்பின் மீதுள்ள அமுத்தமானது பாத்திரத்திலுள்ள நீர்மத்தின் எடைக்கு சமம். நீர்மப் பரப்பில் சமபரப்பளவுகளின் மீதுள்ள அமுக்கம் சமமாக இருக்குமானால் அம்முழுப் பரப்பின் மீதுள்ள அமுக்கம் சீரானது எனலாம். நீர்மப் பரப்பின் மீதுள்ள அமுக்கம் சீராக இருக்கும்போது நீர்மத்தினுள் ஓரலகு பரப்பின்மீது செயற்படும் அமுக்கமே பாய்ம நிலையியல் அழுத்தம் (hydrostatic pressure) அல்லது அழுத்தம் (pressure) எனப்படும். அடர்த்தி ρ உடைய நீர்மத்தில் மேல்மட்டத்தில் இருந்து h ஆழத்தில் பாய்ம நிலையியல் அழுத்தம் $h\rho g$ ஆகும். இந்த அழுத்தம் எல்லாத்திசைகளிலும் சமமாய்ச் செயற்படும். கிடையாயுள்ள ஒரு பரப்பில் எல்லாப் புள்ளிகளின் மீதும் சமமான அழுத்தம் செயற்படும். அழுத்தம் ஆழத்தையன்றி நீர்மத்தின் பரும அளவைப் பொறுத்தது இல்லை.

615 **பாய்ஸ்விலி சமன்பாடு** (Poiseuille's equation)

ஒரு சீரான குழாயின்வழியே நீர்மத்தைப் பாய்ச்சி, அத்திரவத்தின் பாகியல் எண்ணைக் கண்டுபிடிக்க இச்சமன்பாடு பயன்படுகிறது. l நீளமும், r ஆரமும் கொண்ட நுண்துளைக் குழாயின் வழியே பாகியல் எண் கண்டுபிடிக்கப்பட வேண்டிய நீர்மம் பாய்வதாகக் கொள்வோம். நுண்துளைக் குழாயின் இரு முனைகளுக்கிடையிலுள்ள அழுத்தங்களின் வேறுபாடு Δp எனக் கொள்வோம். நுண்துளைக் குழாயின் வழியாக ஒரு வினாடியில் பாயும் நீர்மத்தின் பருமம் V எனக் கொண்டால், பாய்ஸ்விலியின் சமன்பாடு

$$V = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 l \eta}$$

ஆகும். Δp, r, l, V ஆகிய அளவுகளைத் தெரிந்துகொண்டால் பாகியல் எண்ணைக் (η) கணக்கிட்டு விடலாம்.

மேற்கண்ட சமன்பாட்டை உருவாக்குகையில் பின்வரும் நிபந்தனைகளுடன் நீர்மம் பாய்வதாகக் கொள்வோம்: 1. நீர்மப் பாய்வு சீராகவும், சராசரி திசைவேகம் மாறுதானத்திசை வேகத்தைவிடக் குறைவாகவும் இருக்க வேண்டும்; 2. எல்லாப் பகுதிகளிலுமுள்ள குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புகளிலும் அழுத்தம் சமச்சீராகவும், ஆரத்திசைகளில் நீர்மம் பாயாமலும் இருக்க வேண்டும்; 3. குழாயின் சுவர்களைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கின்ற நீர்மப் படலத்தின் திசைவேகம் சுழி. அகன்ற குழாய்களுக்கு மேற்கண்ட சமன்பாடு பொருந்தாது. பாய்ஸ்விலியின் நீர்மங்களுக்கான பாகியல் எண் சமன்பாடு அப்படியே வாயுக்களுக்கும் பொருந்தும். ஏனெனில் ஒரு நீர்மத்தின் அடர்த்தி அதன் மேலுள்ள அழுத்தத்தினால் பாதிக்கப்படுவதில்லை. ஆனால், ஒரு வாயுவின அடர்த்தி அதன் அழுத்தத்திற்கு நேர்தகவில் மாறுகிறது.

616 **புவியதிர் அலைகள்** (Seismic waves)

புவியோட்டிலுள்ள பாறைகளின்மீது திடீரென்று ஏற்படும் நடுக்கம் அல்லது அதிர்வையே புவியதிர்ச்சி என்கிறோம். புவியதிர்வு உண்டாகின்ற கீழ்மையத்திலிருந்து நேர் உயரே புவியின் மேற்பரப்பில் அமைந்துள்ள மையத்திற்கு, மேல்மையம் (epicentre) என்று பெயர். புவியதிர்ச்சி மேல்மையத்திலிருந்து அலையுருவில் பெரும் அதிர்வுகளாக நாற்புறமும் பரவுகிறது. இப்புவி அதிர் அலைகள் வினாடிக்கு 5 முதல் 8 கி.மீ. வேகம் வரை செல்லக் கூடியவை. புவியின் மையத்தை நோக்கிச் செல்கையில் இவற்றின் வேகம் மேலும் அதிகரிக்கிறது. மூன்று வகையான புவி அதிர் அலைகள் உண்டு: முதன்மை அலைகள் (primary); இரண்டாம் (secondary) குறுக்கு (transverse) அலைகள்; மேற்பரபபு(surfce) அலைகள்.

முதன்மை அலைகள்: இவற்றில் ஒவ்வொரு துகளும் அலை பாயும் திசையில் முன்னும் பின்னும் விரிந்து சுருங்கிச் செல்கிறது. இவை ஒலி அலைகளுக்குச் சமமானவை. **குறுக்கு அலைகள்**: இவற்றில் அலைப்பாதையில் இருக்கும் ஒவ்வொரு துகளும், அலைபாயும் திசைக்கு செங்குத்தாக உயர்ந்து தாழ்ந்து இயங்கும். **மேற்பரப்பு அலைகள்:**

இவை புவிப் பரப்பின் மேல் வழியாகச் செல்வன; இவற்றின் தன்மை பாறை அடுக்குகளின் நீண்டு சுருங்கும் தன்மையை பொருத்தது.

617 புவியதிர்ச்சிப் பதிவு கருவி (Seismograph)

இக்கருவி 2000 - 3000 கி.மீ. தொலைவில் தோன்றும் புவி அதிர்வைப் பதிவு செய்யும் தன்மை வாய்ந்தது. புவியதிர்வை வழக்கமாக ரிக்டர் (Richter) அளவையில் குறிப்பிடுகின்றனர். புவியதிர்வின் மிகக் குறைந்த ரிக்டர் அதிர்வு எண் சுழி (0) என்றும், மிக அதிகமான அதிர்வெண் 8-9 என்றும் அளவிடுவர். புவியதிர்வு, எழுதுமுனை நகரும் ஒரு சிறிய உருளையின்மேல் உள்ள மெல்லிய தாளில் பதிவு செய்யப்பட்டுக் கணக்கிடப்படுகிறது.

618 பேரோமீட்டர் (Barometer)

ஓர் இடத்திலுள்ள வளி அழுத்தத்தை (atmospheric pressure) அளக்கும் கருவி பேரோமீட்டர் எனப்படும். முதன்முதலில் இதை Torricelli என்பவர் உருவாக்கினார். காற்றின் அழுத்தம் 76 செ.மீ. உயரமான மெர்க்குரித் தம்பத்தினாலேற்படும் அழுத்தத்திற்கு சமம் என அவர் கண்டறிந்தார். இதைப் .பொதுவாக '76 செ.மீ. அழுத்தம்' என்றே சொல்லுகிறோம். மெர்க்குரிக்குப் பதிலாக நீரை உபயோகித்தால் அழுத்தமானியின் உயரம் 1033.6 செ.மீ. இருக்கும். ஆய்வுக்கூடங்களில் வளி அழுத்தத்தை அளக்க Fortin's barometer பயன்படுத்தப்பட்டது. இந்தக் கருவி எளிதில் ஓரிடத்திலிருந்து வேறிடத்திற்கு எடுத்துச் செல்ல முடியாதது. எனவே எளிதில் எங்கும் எடுத்துச் செல்லும் வகையில் ஒரு கருவி அமைக்கப்பட்டது. அதுவே, Aneroid barometer ஆகும். அனிராய்டு என்றால் திரவம் இல்லாதது எனப் பொருள்படும். எனவே இதில் மெர்க்குரியோ அல்லது வேறு எந்த நீர்மமோ பயன்படுத்தப் படவில்லை. இதில் ஒரு குறிமுள் அழுத்தத்தை நேரடியாகக் காட்டுகிறது. ஓரிடத்தில் நாளுக்கு நாள், மணிக்கு மணி, அழுத்தமானியின் நீர்ம உயரத்தில் மாறுதல்கள் உண்டாகும். இதில் சிறிய வீழ்ச்சி வரப்போகும் மழை அல்லது வேகக் காற்றைக் குறிப்படும்; அதிக வீழ்ச்சி வரப்போகும் புயலைக் குறிக்கும். பூமிக்குமேல், உயரம் செல்லச் செல்ல வளி அழுத்தம் குறையும். எனவே ஓரிடத்தில் வளி அழுத்தம் தெரிந்தால் அந்த இடத்தின் குத்து உயரத்தைக் கணக்கிட்டு விடலாம். இவ்வாறு கணக்கிட்டு அனிராய்டு பேரோமீட்டரின் முகப்பில் (dial) வளி அழுத்தத்திற்குப் பதிலாகக் குத்து உயரத்தையே குறித்து விட்டால் அதுவே குத்து உயரமானி (altimeter) ஆகும்.

619 பொழிவு, கசிவு, இடைவிரவல் (Effusion, transpiration, transfusion)

ஒரு கலத்தில் நிரப்பப்பட்ட வாயுக்கலவையிலிருந்து வாயுக்கள் சிறிய துளை வழியே வெற்றிடத்திற்கு வெளியேறும் வெவ்வேறு முறைகள் பொழிவு, கசிவு மற்றும் இடைவிரவல் எனப்படும். கலத்தில் நிரப்பப்பட்ட வாயு, துளை வழியே வெளியேறும்பொழுது அத்துளையுள்ள தகட்டின் தடிமனைவிட (துளையின் நீளம்) துளையின் விட்டம் பெரியதாக இருந்தால் வாயு வெளியேறும்விதம் பொழிவு எனப்படும். கிரஹாம் பொழிவு வீதத்திற்கான (rate of effusion) சமன்பாட்டை உருவாக்கினார்.

$$\text{பொழிவு வீதம்} \ \alpha \ \left| \frac{\text{அழுத்த வேறுபாடு}}{\text{அடர்த்தி}} \right|^{1/2}$$

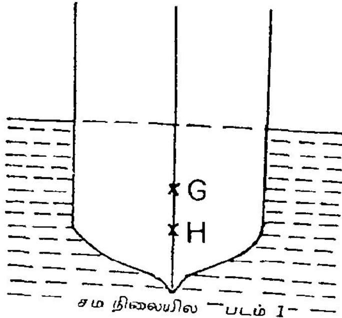
துளை மிக நுண்ணியதாயில்லாமலும், நீளம் அதன் விட்டத்தைவிட அதிகமாகவுமிருந்தால், அதன்வழியே வாயு வெளியேறும்முறை கசிவு எனப்படும். இம்முறையில் வெளியேறும் வாயுவின் வேகம் அதன் பாகியலைமட்டுமே பொறுத்திருக்கும். மேற்கூறிய இரு முறைகளிலும் ஒரு வாயுக் கலவை தனித்தனியாகப்

பிரியாமல் மொத்தமாகவே வெளியேறுகிறது. துளை மிக நுண்ணியதாகவும், விட்டம் மூலக்கூறுகளின் பரிமாணங்களோடு ஒப்பிடக்கூடியதாகவும் இருந்தால், அதன்வழியே வாயு வெளியேறும் முறை இடைவிரவல் எனப்படும். இம்முறை வாயுக்கலவையிலிருந்து வாயுக்களைத் தனித்தனியாகப் பிரிக்கப் பயன்படுகிறது.

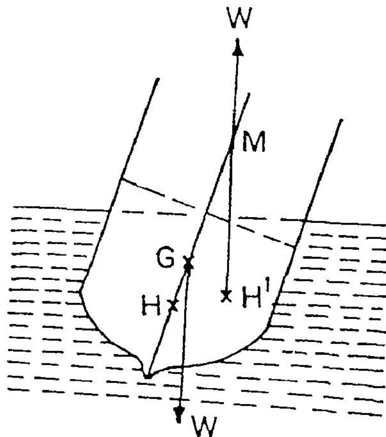
620 மிகைவேக மையவிலக்கிகள் (ultra centrifuges)

வட்டச் சுழற்சியில் ஏற்படும் மைய விலக்கு விசையைப் பயன்படுத்தி ஒரு திரவப் பொருளில் உள்ள அடர்மிகு துகள்களை அடர்வு குறைந்த துகள்களிலிருந்து பிரித்தெடுக்கும் கருவியே மையவிலக்கி என்கிறோம். ஒரு மின்சார மோட்டாரைக் கொண்டு திரவப்பொருள் நிரம்பிய உருளை வடிவப் பாத்திரம் வேகமாக சுழற்றப்படும்போது அடர்வு மிகு துகள் சுழலச்சை விட்டு விலகியும் அடர்வு குறை துகள் சுழலச்சை நோக்கியும் நகருகின்றன. பால் நிரம்பிய பாத்திரத்தை இவ்வாறு சுழற்றும்போது வெண்ணைத் துகள்கள் அச்சை சுற்றிப் படிகின்றன. கொழுப்பு நீக்கப்பட்ட பால் இவ்வாறு பிரித்தெடுக்கப்படுகிறது. மொலாசசிலிருந்து சர்க்கரைப் படிமங்களையும், தேன் மெழுகிலிருந்து தேனையும் பிரித்தெடுக்க இக்கருவி பயன்படுகிறது. உலர் கருவிகளில் ஈரத் துணிகளிலிருந்து நீர்த்துளிகளிலும் இவ்வாறே பிரித்தெடுக்கப்படுகின்றன. சுழல் வேகம் மிகமிக அதிகமாக உள்ள மைய விலக்கிகள் மிகைவேக அல்லது விரைவு மைய விலக்கிகள் எனப்படும். இவற்றின் சுழற்சி வேகம் நிமிடத்திற்கு முப்பதாயிரம் முதல் நாற்பதாயிரம் சுழற்சிகள் என்கிற அளவிலிருக்கும்.

621 மிதவைக் காப்பு மையமும் மிதவைக் காப்பு உயரமும் (Metacentre and Metacentric height)



சம நிலையில படம் 1



சற்று சாய்ந்த நிலையில் படம் 2

ஒரு பொருள் ஒரு நீர்மத்தில் முழுவதுமாய் அல்லது ஓரளவாய் மூழ்கியுள்ளபோது இடம் பெயர்க்கப்பட்ட நீர்மத்தின் எடை அப்பொருளின் எடைக்கு சமமாகும். நீர்மத்தில் மிதக்கும் பொருள் நிலையாக இருக்கும்போது, அப்பொருளின் புவிஈர்ப்பு மையமும் (G), இடம் பெயர்க்கப்பட்ட நீர்மத்தின் புவிஈர்ப்பு மையமும் (H) ஒரே நிலைக்குத்துக் கோட்டிலிருக்கும். பொருளின் இடம் பெயர்க்கப்பட்ட நீர்மத்தின் புவிஈர்ப்பு மையத்தையே மிதப்பு மையம் H (centre of buoyancy) என்று குறிப்பிடுவர். நீர்மத்தில் மிதக்கும் பொருள்மீது இரு விசைகள் செயற்படுகின்றன: 1) G வழியாக செங்குத்தாகக் கீழ்நோக்கி செயற்படும் விசை W; 2) H வழியே செங்குத்தாக மேல்நோக்கி செயற்படும் விசை. பொருள் சமநிலையில் (படம் 1) இருக்கும் போது, இந்த இரண்டு விசைகளும் சமமாக இருப்பதோடு ஒரே நேர்கோட்டில் எதிர்த் திசைகளில் செயற்படும். இந்த இரண்டு விசைகளும் மிதக்கும் பொருளைத் தொடக்க நிலைக்குத் திருப்பும் திறன் வாய்ந்த விசை ஒன்றினை ஏற்படுத்தும். இந்த வகையில் பொருள் உறுதிச் சமநிலையில் உள்ளது.

ஒரு மிதக்கும் பொருள் சற்று சாய்வாக படம் 2-ல் உள்ளது போல் நிலைபெற்றால், பொருளின் எடை மாறாமல் இருப்பதால், இடம் பெயர்ந்த நீர்மத்தின் எடை மாறாமல் இருக்கும். ஆனால் மிதப்பு

மையம் H' என்ற இடத்திற்கு இடம் பெயர்ந்திருக்கும். H'-இருந்து செங்குத்துக்கோடு வரைந்தால், அக்கோடு HG ஐ M என்ற இடத்தில் சந்திக்கும். அந்தப் புள்ளி (M), மிதவைக் காப்பு மையம் (Meta centre) எனப்படும். புவிஈர்ப்பு மையம் G-க்கும், மிதவைக் காப்பு மையம் M-க்கும் உள்ள தொலைவே மிதவைக் காப்பு உயரம் (Meta centric height) எனப்படும்.

கப்பல் மற்றும் ஏனைய மிதவை அமைப்புகள் நீரில் மூழ்காமல் இருக்க இந்த உண்மை பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஒரு மிதக்கும் பொருளினுடைய உறுதிப்பாட்டைப் பாதுகாப்பதற்கு அதன் புவிஈர்ப்பு மையமானது, மிதவைக் காப்பு மையத்திற்கு இயன்ற அளவு கீழாய் அமைய வேண்டும். இதன்காரணமாகவே, கப்பல்கள் அடியில் அதிக நிறையுள்ளனவாக அமைக்கப்படுகின்றன.

622 ***மீட்சியியல் அலைகள்*** (Elastic waves)

தகைவுகளுக்கு உட்படுத்தப்பட்டுள்ள ஒரு பொருள் அல்லது ஒரு ஊடகம் திடீரென மாறுதலடையும்போது, (1) ஊடகமோ அல்லது பொருளோ இடப் பெயர்ச்சி அடைகிறது; (2) தகைவில் ஏற்படும் மாறுதல், பொருளில் அல்லது ஊடகத்தில் மீட்சியியல் அலைகளாகப் பரவுகிறது. திசையொத்த பண்புள்ள ஊடகத்திற்கு (isotropic medium) மூன்று விதமான அடிப்படை மீட்சியியல் அலைகள் இருக்கின்றன: 1) இறுக்க அலைகள் (compressional waves), 2) சறுக்கு அலைகள் (shear waves), 3) நெகிழ்ச்சி அலைகள் (flexural waves). ஒரு நீளமான தண்டிற்கு அதன் அச்சுக்கு இணையாக ஓர் அதிர்ச்சியைக் கொடுக்கும்போது இறுக்க அலைகள் உருவாகின்றன; இவை நெட்டலை வகையைச் சார்ந்தவை. ஊடகத்தின்மேல் திடீர் சறுக்குப் பெயர்ச்சி ஏற்படும்போது சறுக்கு அலைகள் உருவாகின்றன; இவை குறுக்கலைகள் வகையைச் சார்ந்தவை. ஒரு தண்டின் மேலுள்ள எடையில் ஏற்படும் மாறுதலால் நெகிழ்ச்சி அலைகள் தோன்றுகின்றன. இம் மீட்சியியல் அலைகள் பூமியில் நில அதிர்வு ஏற்படக் காரணமாக இருக்கின்றன.

623 ***மீட்சியியல் சோர்வு*** (Elastic fatigue)

Kelvin என்பவரால் இந்த உண்மை பெறப்பட்டது. திருகு அதிர்வில் (torsional vibrations) உள்ள ஒரு கம்பியின் அதிர்வுகள் இயல்பான நிலையிலுள்ள கம்பியினுடையதைக் காட்டிலும் மிக விரைவில் நின்று விடும். இவ்வாறாகத் தொடர்ந்து அதிர்வு நிலையிலிருக்கும் ஒரு கம்பி சிறிது நேரத்தில் சோர்வடைவதை அல்லது ஓய்ந்து விடுவதை (மீண்டும் அதிரமுடியாமல்) மீட்சியியல் சோர்வு என்றழைப்பர்.

624 ***மீட்சியியல் பின்னடைவு*** (Elastic hysteresis)

மீட்சியியல் விசையை ஒரு பொருளிலிருந்து விலக்கிக் கொள்ளும்போது இவ்விளைவு உண்டாகிறது. உ.ம். ஒரு கண்ணாடித் துண்டின்மீது மீட்சியியல் விசையைச் செலுத்திப் பின்வாங்கிக் கொண்டால் அதில் இறுக்கத்தில் (stress) ஏற்படும் மாற்றம் விரைவாகவும், திரிபில் (strain) ஏற்படும் மாற்றம் சற்று மெதுவாகவும் உள்ளன. இம்மாற்றம் மீட்சியியல் விசை செலுத்தப்படும் நேரத்தைவிட பின்வாங்கிக் கொள்ளும் நேரத்தில் அதிகமாகக் காணப்படுகிறது. இவ்வாறு இறுக்கத்திற்கும், திரிபிற்கும் உள்ள மீட்சியியல் வேக வேறுபாட்டை 'மீட்சியியல் பின்னடைவு' என்பர். இது உலோகங்கள், குவார்ட்ஸ் போன்ற பொருட்களுக்கு மிகமிகக் குறைவாக இருக்கும்.

625 ***மீள்தன்மை*** (Resilience)

ஒரு திண்பொருளின்மீது பெரும விசையொன்று செயற்படும்பொழுது அதன் அளவிலோ, வடிவத்திலோ, அல்லது இரண்டிலுமோ குறிப்பிட்ட மாறுதல்கள் ஏற்படுகின்றன. விசையை நீக்கினால் பொருள் மீண்டும் பழைய நிலையை அடைகின்றது.

இத்தன்மையை மீள்தன்மை என்பர். ஒரு பொருளில் உருவ மாற்றத்தை உண்டாக்க, அதன்மீது ஒரு விசை, வேலை செய்ய வேண்டும். அப்படிச் செய்யப்பட்ட வேலை, ஆற்றலாக அப்பொருளில் சேமிக்கப்படும். இது திரிபு ஆற்றல் எனப்படும். மீட்சியியல் எல்லைக்குள் நடைபெறும் இவ்வேலையை அளப்பதன் வாயிலாக, மீள்தன்மையை அளவிடலாம். ஓரலகு பருமனுள்ள தண்டில் காணப்படும் மீள்தன்மை = $F^2/(2Y)$; இங்கு F என்பது தகைவு (செயற்படும் விசை / பரப்பு); Y என்பது யங் குணகம். ஒரு பொருளில், ஓரலகு பருமனில் சேமிக்கப்படும் பெருமத் திரிபு ஆற்றலிலிருந்து பெறப்படும் மீள்தன்மை மெய்ப்பிப்பு மீள்தன்மை (Proof resilience) எனப்படும். ஓரலகு பருமனுள்ள தண்டில் காணப்படும் மெய்ப்பிப்பு மீள்தன்மை = $F_m^2/2Y$; Fm என்பது பெருமத் தகைவு .

626 மூலக்கூறு விசைகள் – பிறிதொட்டும் விசைகளும் ஒருங்கொட்டும் விசைகளும் (Molecular forces - adhesive and cohesive forces)

மூலக்கூறுகளை ஒன்றோடொன்று ஒட்டச் செய்வது மூலக்கூறு இடைவிசைகளின் (inter-molecularforces)ஒரு வெளிப்பாடே யாகும். திரவங்களோ அல்லது திடப்பொருள்களோ, இரு வெவ்வேறு பொருட்கள் ஒட்டுவது பிறிதொட்டு தன்மை எனப்படும். இது வெவ்வேறு பொருட்களின் முலக்கூறுகளுக்குடையேயுள்ள ஈர்ப்பு விசையாகும். எடுத்துக்காட்டாக, கோந்திற்கு (gum), நீர் மற்றும் ஆல்ஹாலைக் காட்டிலும் அதிகப் பிறிதொட்டு விசை இருக்கும்.

ஒரேமாதிரியான ஆக்கப்பொருட்களைக் கொண்ட இரு பொருட்கள் ஒட்டுவதை ஒருங்கொட்டும் தன்மை எனவும் கூறலாம். ஒட்டுவதற்குத் தேவையான ஈர்ப்பு விசை மூலக்கூறிடை விசைகளிலிருந்தே பெறப்படுகிறது இவ்விசை, இயல்பான எதிர்தகவு இருமடி விதிக்கும் கட்டுப்படாதது. அதாவது இவ்விசையானது இரு மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயுள்ள எட்டு அடுக்கு (8^{th} power) தூரத்திற்கு எதிர்தகவிலிருக்கும் என்பது விதி.

ஆகையால் தூரத்தைப் பொருத்து விசைமாறுபடுகிறது. இரு மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயுள்ள தூரம் குறைந்தால் விசை கணிசமாகக் கூடும். தூரம் அதிகமானால் விசையின் அளவு குறையும். இவ்விசை திண்மப் பொருட்களுக்கு மிக அதிகமாகவும், திரவங்களுக்கு அதைவிடக் குறைவாகவும் இருக்கும். எனவேதான் திண்மப்பொருடகளுக்கு ஒரு திட்டமான உருவமும், திரவங்களுக்கு ஒரு திட்டமான புறப்பரப்பும் இருக்கிறது. வாயுக்களுக்கு இவை இரண்டும் இராது.

627 மூலக்கூறுகளைச் சார்ந்த உறைநிலை வீழ்ச்சி (Molecular depression of freezing point)

100 க.செ.மீ. நீரின் பருமனில் கரைபொருளின் 1 கிராம் மூலக்கூறு கரைக்கப்படுவதால் உண்டாகும் நீரின் உறைநிலை வீழ்ச்சி, மூலக்கூறு உறைநிலை வீழ்ச்சி எனப்படும். இதன் மதிப்பு 18.5°C ஆகும். ஒரு தூய திரவத்தின் உறைநிலையுடன் ஒப்பிடுகையில் ஒரு கரைசலின் உறைநிலை அடையும் வீழ்ச்சி, குறித்த பருமனுள்ள திரவத்தில் கரைந்துள்ள பொருளின் நிறைக்கு நேர்தகவிலுள்ளது. உறைநிலை வீழ்ச்சியிலிருந்து ஒரு பொருளின் மூலக்கூறு எடையைக் கணக்கிடலாம். 100 க. செ. மீ. நீரில் x கிராம் பொருள் கரைந்தால், ஏற்படும் உறைநிலை வீழ்ச்சி dT எனக் கொள்வோம். X கிராம் பொருளின் கிராம் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை (dT / 18.5) ஆகும். காரணம், 18.5°C உறைநிலை வீழ்ச்சி, 100 க. செ. மீட்டரில் 1 கி. மூலக்கூறு இருப்பதைக் குறிக்கிறது அல்லது பொருளின் (dT / 18.5) கி. மூலக்கூறுகளின் எடை x கிராம் ஆகும். ஆகையால்

அதன் 1 கி. மூலக்கூறின் எடை 18.5 X (x / dT) கிராம். அல்லது பொருளின் மூலக்கூறு எடை = (18.5 x / dT).

628 மூலக்கூறுகளைச் சார்ந்த கொதிநிலை உயர்வு (Molecular elevation of the boiling point)

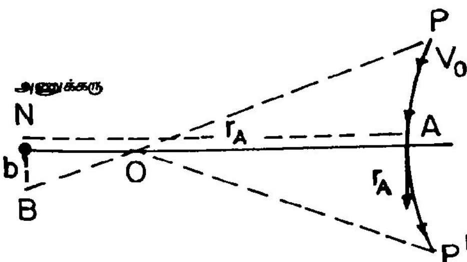
100 க.செ.மீ பருமனில் ஒரு கிராம் மூலக்கூறுக்கு நீரின் கொதி நிலை உயர்வு, மூலக்கூறு கொதி நிலை உயர்வு எனப்படும். இதன் மதிப்பு 5.34 ^{0} C ஆகும். ஒரு தூய திரவத்தின் கொதி நிலையோடு ஒப்பிடும்போது, பொருள் அதில் கரைந்துள்ளபோது அடையும் வெப்பநிலை உயர்வு, கரைந்துள்ள பொருளின் மூலக்கூறு எடையுடன் நேரடித் தொடர்புடையது. கொதி நிலை உயர்விலிருந்து ஒரு பொருளின் மூலக்கூறு எடையைக் கணக்கிடலாம். 100 க.செ மீட்டரில் நீரில் x கிராம் எடையுள்ள ஒரு பொருள் கரைவதாக வைத்துக் கொள்வோம். கொதிநிலை உயர்வு dT எனக் கொள்வோம். 100 க.செ மீட்டரில் ஒருகிராம் மூலக்கூறினால் ஏற்படும் கொதிநிலை உயர்வு 5.34 ^{0} C ஆகையால் கரைசலில் உள்ள கிராம் மூலக் கூறுகளின் எண்ணிக்கை (dT / 5.34) ஆக இருக்க வேண்டும். இது x கிராம் பொருளிலுள்ள கிராம் மூலக்கூறுகளாகும். ஆகவே ஒரு பொருளின் (dT / 5.34) மூலக்கூறுகளின் எடை x கிராம் ஆகும். ஆகையால் பொருளின் 1 கிராம் மூலக்கூறின் எடை 5.34 X (x / dT) ஆகும். அல்லது பொருளின் மூலக்கூறு எடை = M = 5.34 X (x / dT) கிராம்.

629 மோதல் – நிலைமீட்சிக் குணகம் (Impact - coefficient of restitution)

இரண்டு பொருட்கள் ஒன்றையொன்று தாக்கி ஒன்றின்மேல் ஒன்று அழுந்துவதற்கு மோதல் (Impact) என்று பெயர். மோதல் இரு வகைப்படும்: 1) நேரடி மோதல் (direct impact), 2) சாய்ந்த மோதல் (oblique impact). மோதல்களைப் பற்றி முதன்முதலில் நியூட்டன் ஆய்வுகள் செய்தார். அதன் விளைவாய் நியூட்டன் ஆய்வு நிலை விதி உருவாகியது.

இரு பொருட்கள் மோதிக் கொள்ளும்போது, பொது நேர்குத்துக் கோட்டின் வழியே மொத்த உந்தம் மாறுவதில்லை. மேலும், மோதலுக்குப் பின் பொது நேர்குத்துக் கோட்டின் வழியே இரு பொருட்களுக்கும் இடையேயுள்ள சார்புத் திசைவேகத்திற்கும் மோதலுக்கு முன்னிருந்த சார்புத் திசைவேகத்திற்கும் இடையேயுள்ள தகவும் ஒரு மாறிலி ஆகும். இது ஓர் எதிர்குறி எண்ணாகும். இந்த மாறிலி, நிலைமீட்சிக்கெழு e (coefficient of restitution) எனப்படும். e-யின் மதிப்பு மோதும் பொருட்களின் பருமனைப் பொறுத்ததாக இராமல் அவை செய்யப்பட்டுள்ள மூலப்பொருட்களைப் பொறுத்திருக்கிறது. மேலும், இதன் அளவு 0 முதல் 1 வரை இருக்கும். e = 0, என்றால், பொருட்கள் மீள்திறனற்றவை என்று பொருள். e = 1 என்றால், பொருட்கள் இலக்கண மீள்திறன் உடையவை என்று பொருள்.

630 மோதல் அளபுரு (Impact parameter)



மோதல் அளபுருவை α–துகள் சிதறல் கொண்டு விளக்கலாம். α–துகள் ஒரு அணுக்கருவை நெருங்கும்போது α–துகள் சிதறல் ஏற்படுகின்றது. இங்கு α–துகள் விலக்கமடைவதற்குக் காரணம் α– துகளுக்கும் அணுவில் இருக்கும் நேர் மின்னுக்கும் இடையே செயற்படும் கூலும் விலக்கு விசையே ஆகும். மேலும் அணுக் கரு α–துகள்கள் அணுவின் மையத்தை

நோக்கிச் செல்லச்செல்ல அவ்விசையால் ஏற்படும் எதிர்ப்பு விசை அதிகரிக்கிறது; எனவே, பெருங்கோணச் சிதறல் (large angle scattering) ஏற்படுகின்றது. இத்துகள் V_0 வேகத்துடன் படத்தில் காட்டியவாறு பயணித்து அணுவின் (N)PO திசையில் நுழைவதாகக் கருதினால், கூலும் விசை காரணமாக PAP என்ற பரவளைய (hyperbola) பாதையில் விலக்கமடைந்து செல்லுகின்றது. படத்தில் NA என்ற நேர்கோட்டுடன் PA மற்றும் AP ஏற்படுத்தும் கோணங்கள் சமம். PO திசையை நீட்டுவதால் ஏற்படும் புள்ளி B-க்கும் N-க்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு (NB=) b. இத்தொலைவே மோதல் அளபுரு எனப்படுவது. இந்த மோதல் அளபுரு துகளின் அண்மைத் தொலைவை (NA=) r_A அறிய உதவுகின்றது.

631 மையநோக்கு விசை (Centripetal force)

நேர்கோட்டில் சீரான திசைவேகத்துடன் இயங்கும் ஒரு பொருள் புறவிசை ஒன்று அதன்மீது தாக்காதவரை அதே திசையில் அதே வேகத்துடன் செல்கிறது. அப்பொருளை நேர்கோட்டுப் பாதையிலிருந்து விலக்கி வட்டப் பாதையில் சீரான வேகத்துடன் இயங்க வைப்பதற்கு அதன்மீது புற விசையொன்று செயற்பட வேண்டும். இதனை மையநோக்கு விசை என்கிறோம். இது அவ்வட்டப்பாதையின் ஆரத்தின் வழியாக மையத்தை நோக்கிச் செயற்படும். m நிறையுடைய ஒரு பொருள் r ஆரமுள்ள ஒரு வட்டப் பாதையில் ω மதிப்புள்ள சீரான கோணத் திசைவேகத்துடன் இயங்குமானால் மைய நோக்கு விசையின் அளவு $mr\omega^2$ ஆகும்.

ஒரு கயிற்றின் முனையில் கட்டப்பட்டுள்ள பொருள் சுழலும்போது காற்றின் இழுவிசை மையநோக்கு விசையைத் தருகிறது. ஒரு சைக்கிள் பயணி சீரான திசைவேகத்துடன் ஒரு வட்டப் பாதையில் பயணம் செய்யும்போது பாதைக்கும் சக்கரங்களுக்கும் இடையே உள்ள உராய்வு விசை மையநோக்கு விசையைத் தருகிறது. கோள்களின் வட்ட இயக்கத்திற்கான மையநோக்கு விசையைச் சூரியனுக்கும் கோளுக்குமான ஈர்ப்பு விசை தருகிறது.

632 மையவிலக்கு விசை (Centrifugal force)

வட்டப் பாதையில் இயங்கும் ஒரு பொருளின்மீது செயற்படும் மைய நோக்கு விசைக்கு எதிர் வினையாகச் செயற்படும் விசையை மையவிலக்கு விசை என்கிறோம். இதன் அளவு மையநோக்கு விசைக்குச் சமமாகவும், அதன் திசைக்கு எதிராகவும் இருக்கும். ஒரு கல்லைக் கயிற்றில் கட்டி சீரான திசைவேகத்தில் சுழற்றும்போது அக்கல் நமது கரத்தின் மீது ஒரு சமமான எதிர்விசையை செலுத்துவதை உணர்கிறோம். இதுவே மையவிலக்கு விசை. சுழலியகத்தில் உள்ள ஒரு பொருளில் மையநோக்கு விசை வெளியிலிருந்து செயற்படுகிறது. மைய விலக்கு விசையே சுழலியக்கம் தொடங்கியவுடனேயே தொடங்கிவிடுகிறது. வட்டப்பாதையில் வேகமாகத் திரும்பும் வாகனங்கள் சம நிலையை இழப்பதற்கு இதுவே காரணமாகிறது.

633 யங் குணகம் (Young's modulus)

உருக்குலைவு (deforming) விசையை ஒரு பொருளின்மீது ஏதேனும் ஒரு திசையில் செலுத்தும்போது, அதன் ஓரலகு நீளத்தில் ஏற்படும் மாற்றம் நீள்திரிபு என்றும் (longitudinal strain), குறுக்குவெட்டில் ஓரலகு பரப்பளவில் செலுத்தப்படும் விசை நீள்இறுக்கம் (longitudinal stress) என்றும் அழைக்கப்படும். மீட்சியியல் எல்லைக்குள் நீள்இறுக்கத்திற்கும், நீள்திரிபிற்கும் உள்ள தகவு யங் குணகம் (Y) என்றழைக்கப்படுகிறது.

634 ரெனால்டு எண் (Reynold's number)

ரெனால்டு எண்ணின் மதிப்பைக் கொண்டு, நீர்மம் அல்லது வாயு ஒரு குழாயின் வழியே பாயும்போது அருவிக் கோட்டியக்கத்தில் (stream-lined motion) செல்கின்றதா அல்லது கலக்க ஓட்டத்தில் (turbulent motion) செல்கின்றதா என்பதை நிர்ணயிக்கலாம். ரெனால்டு முதன்முதலில் மாறுதல் திசைவேகத்திற்கான (critical velocity) கோவையை வரையறுத்தார்

$$V_c = \frac{R\eta}{\rho r}.$$

இதில் η, பாகியல் எண்; ρ, அடர்த்தி; r, ஆரம்; R என்பது ஒரு பரிமாணமில்லா மாறிலி; அதுவே ரெனால்டு எண் என்பது.

குழாயின் வடிவமைப்பையும், நீர்மத்தின் தன்மையையும் பொறுத்து r, η, ρ ஆகியவற்றின் அளவுகள் மாறினாலும் ரெனால்டு எண் (R) மாறாமல் இருக்கும்போது நீர்மம் ரெனால்டு எண்ணின் மதிப்பைப் பொருத்து அருவிக்கோட்டு இயக்கத்திலோ அல்லது கலக்க ஓட்டத்திலோ தொடர்ந்து செல்லும். எந்த ஓரிடத்திலும் அருவிக் கோடுகளின் அமைப்பும், பாகியல் ஊடகத்தின் திசைவேகமும் ரெனால்டு எண்ணைப் பொறுத்தே அமையும். இதை ஒற்றுமைக் கோட்பாடு எனலாம். ரெனால்டு எண் மூலம் நீர்மத்தின் திசைவேகத்தைத் தெரிந்து கொள்வது மட்டுமில்லாமல் நீர்மப் பாய்சலுக்கு அதன் பாதையில் ஏற்படும் தடை போன்ற விபரங்களையும் தெரிந்து கொள்ளலாம்.

635 வளைவுத் திருப்புதிறன் (Bending moment)

சீரான குறுக்குப் பரப்புடைய நீண்ட தண்டை, புற விசை இரட்டை (external couple) ஒன்றின் துணையால் வளைக்கலாம். அவ்வாறு வளைக்கும்போது மீட்சியல் விசைகளால் மீட்பு இரட்டை (restoring couple) தண்டினுள் செயற்படும். வளைவுவிசை இரட்டை (bending couple) செயற்பட்டுத் தண்டு சமநிலையிலிருக்கும் பொழுது அதன் புற வளைவுத் திறன் (external bending moment) அக வளைவுத் திருப்புதிறனுக்குச் (internal bending moment) சமமாகும். இந்த அக வளைவுத் திருப்புதிறனே வளைவுத் திருப்புதிறன் (bending moment) எனப்படும்.

எந்தவொரு வெட்டுமுக வடிவமுடைய தண்டிற்கும், வளைவுத் திருப்புதிறன் = $(Y/R)\,AK^2$. இங்கு, Y, தண்டின் யங் குணகம்; R, வளைவு ஆரம், A, தண்டின் குறுக்குப் பரப்பளவு; K, குறுக்குப் பரப்பில் சுழலியக்க ஆரம். AK^2 என்பது வடிவியல் நிலைமத் திருப்புதிறன் (geometrical moment of inertia).

ஒரு செவ்வகக் குறுக்குப் பரப்பைக் கொண்ட தண்டிற்கு, வளைவுத் திருப்பு திறன் = $(Ybd^3)/(12R)$; இங்கு b தண்டின் அகலம்; d தண்டின் தடிப்பு. ஒரு வட்டக் குறுக்குப் பரப்பைக் கொண்ட தண்டிற்கு, வளைவுத் திருப்புதிறன் = $(Y\pi r^4)/(4R)$; இங்கு r தண்டின் வட்டக் குறுக்குப் பரப்பின் ஆரம்.

636 விடுபடு திசைவேகம் (Escape velocity)

புவியிலிருந்து ஏவப்பட்ட ஒரு பொருள் புவியின் ஈர்ப்புப் புலத்திலிருந்து முழுதும் விடுபட்டுத் தப்பிச் செல்வதற்குத் தேவைப்படும் மிகக் குறைந்த திசைவேகத்தை விடுபடு திசைவேகம் (v_e) என்கிறோம். இதன் மதிப்பு 11.2 கி.மீ / வினாடி ஆகும்.

புவியின் மேற்பரப்பிலிருந்து ஏவப்பட்ட m நிறை கொண்ட ஒரு பொருளின் தொடக்கத் திசைவேகம் v என்க. புவி ஆரம் R, புவி ஈர்ப்பு முடுக்கம் g, ஏவப்பட்ட பொருள் அடையும் பெருமத்தொலைவு (r_{max}) என்க. பொருளின் இயக்க ஆற்றல் $(1/2)mv^2$ முழுதும்,

அப்பொருள் பெருமத் தொலைவை அடையும்போது ஈர்ப்பியல் நிலையாற்றலாக மாறுகிறது. அதாவது

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgR^2\left(\frac{1}{R}-\frac{1}{r_{max}}\right)$$

தொடக்க இயக்க ஆற்றல் mgRக்குச் சமமாகவோ அல்லது அதைவிட அதிகமாகவோ இருக்கும்போது சுவையான நிகழ்ச்சி ஒன்று நிகழ்கிறது. காட்டாக, தொடக்க இயக்க ஆற்றல் mgR என்றால் மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் $r_{max} = \infty$ என்றாகிறது. அதாவது பொருளின் திசைவேகம் எப்போதும் சுழியாகாது என்பதை இது குறிக்கிறது. இங்கு mgR க்குச் சமமான இயக்க ஆற்றலைத்தரும் திசைவேகத்தின் மதிப்பே விடுபடு திசைவேகம் என்றழைக்கப் படுகிறது. அதாவது $(1/2)mv^2 = mgR$ என்றிருப்பின், $v_{விடுபடு} = \sqrt{2gR}$. இதில் புவியின் ஆரம் $R = 6.38 \times 10^6$ மீட்டர், புவியீர்ப்பு முடுக்கம் = 9.8 மீட்டர்/ வினாடி^{2} என்ற மதிப்பு களைப் பதிலீடு செய்தால் $V_{விடுபடு}$ = 11.2 கி.மீ. / வினாடி என்று தெரிய வருகிறது.

செயற்கைக் கோள் ஒரு நிலையான சுற்றுப்பாதையில் அமைந்து புவியைச் சுற்றி வருவதற்கான வட்டத் திசைவேகம் $v_{சுற்றுப்பாதை} = \sqrt{gR}$ என்பதனுடன் விடுபடு திசைவேகத்தை ஒப்பிட்டுப் பார்த்தால் விடுபடு திசைவேகம் வட்டத் திசைவேகத்தைப் போல் $\sqrt{2}$ மடங்காக இருப்பதைக் காணலாம். அதாவது $V_{விடுபடு} = \sqrt{2}\,V_{சுற்றுப்பாதை}$

வளிமண்டலத்தில் உள்ள ஹைட்ரஜனின் சராசரி திசைவேகம் 2 கி.மீ. / வினாடி. மற்ற வாயு மூலக்கூறுகள் ஹைட்ரஜனைவிட அதிக எடை கொண்டிருப்பதால் அவைகள் ஹைட்ரஜனை விடக் குறைவான திசைவேகம் கொண்டுள்ளன. இவ்வாறு வளிமண்டல வாயு மூலக்கூறுகளின் திசைவேகம் புவியின் விடுபடு திசைவேகத்தை விடக் குறைவாக இருப்பதாலேயே அவைகள் இப்புவியின் ஈர்ப்பு விசைக்குக் கட்டுப்பட்டு புவியில் உயிர்கள் வாழ வழிவகுத்துள்ளன.

637 **விரவல்** (Diffusion)

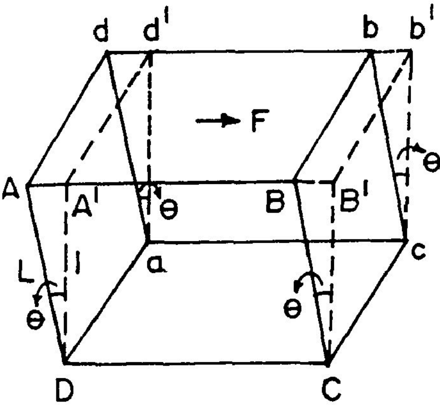
புவியீர்ப்பு விசையை மீறிப் பொருளின் மூலக்கூறுகள் அடர்வு மிகுந்த பகுதிகளிலிருந்து அடர்வு குறைந்த பகுதிகளுக்குச் சென்று கலப்பது விரவல் எனப்படும். நீர்மப் பொருட்களில் ஒரு கரைசலிலுள்ள கரைபொருளின் மூலக்கூறுகள் அடர்வு மிகுந்த பகுதிகளிலிருந்து அடர்வு குறைந்த பகுதிகளுக்குச் செல்லுவதும், வாயுக்களில் கனமான வாயுவின் மூலக்கூறுகள் மேலெழும்பி ஒரு மென்வாயுவின் மூலக்கூறுகளுடன் கலப்பதும் விரவல் எனப்படும். கரைபொருள் சமநிலை ஏற்பட்டுக் கரைசலின் அடர்வும், அழுத்தமும் ஒரே சீராக ஆகும்வரை கரைப்பானுக்குள் பரவுகின்றது. திண்மப்பொருள்களில் குறிப்பிட்ட படிகவியல் கட்டுமானம் இருந்தபோதிலும் அவற்றிலும் விரவல் ஏற்படுவது கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. ராபர்ட் ஆஸ்டன் என்பவர் ஒரு தங்கத் தகட்டிற்குள் மெல்லிய காரீய உருளையை செருகி உயர்ந்த அழுத்தத்திலும் இரு உலோகங்களின் உருகு நிலைகளைவிட மிகக் குறைந்த வெப்பநிலையில் நெடுங்காலம் வைத்திருந்து தங்கம் காரீயத்திற்குள் விரவுவதை மெய்ப்பித்துக் காட்டினார். Groh, Hevesy ஆகியோர் கதிரியக்கக் காரீயம் இயல்புக் காரீயத்தை தொட்டுக் கொண்டிருக்கும்படி ஓராண்டுக்கு மேலாக வைத்திருந்து கதிரியக்கக் காரீயம் இயல்புக் காரீயத்திற்குள் விரவுவதைக் கண்டுபிடித்தனர். இதற்கு தன்னின விரவல் (self diffusion) என்று பெயர்.

638 **விரவலுக்கான பிக் விதி** (Fick's law of diffusion)

1855–ல் Fick விரவலுக்கான ஒரு விதியை உருவாக்கினார். 'ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் ஏற்படும் விரவல் வீதம், அத்திசையில் கரைபொருளின் அடர்வுச் சரிவிற்கு (concentration gradient) நேர்தகவிலிருக்கும்' என்பதே அவ்விதியாகும். A எனும் பரப்பளவு கொண்ட உருளையின் வழியே ஒரு வினாடியில் விரவல் செய்யும் கரைபொருளின் அளவு $Q=KA\,((dc)/(dx))$. இங்கு, dx, தூரம்; dc அடர்வு மாற்றம்; K கரைபொருளின் விரவல்

எண். கரைப்பானில் உள்ள கரைபொருளின் தன்மையையும், கரைசலின் அடர்வையும் பொறுத்து, K இருக்கும். அதாவது, dx எனும் தொலைவுக்குள் அடர்வு dc அளவு மாறினால், அடர்வுச் சரிவு = dc / dx ஆகும். A= 1 , dc / dx= 1 என எடுத்துக்கொண்டால் மேற்குறிப்பிட்ட சமன்பாடு Q= K என்று ஆகும். அதாவது ஓரலகு அடர்வுச் செறிவுள்ள திசையில் அதற்கு நேர்குத்தாக உள்ள ஓரலகுப் பரப்பளவின் வழியே ஒரு வினாடியில் விரவிக் கடக்கும் கரைபொருளின் நிறை அதன் விரவல் எண்ணுக்குச் சமமாகும். விரவல் எண்ணின் பரிமாணக் கோவை L^2T^{-1} ஆகும். பிக்கின் விரவல் விதிக்கும், பூரியரின் வெப்பக்கடத்தல் விதி, மற்றும் ஓமின் மின்சாரக் கடத்தல் விதி ஆகியவற்றிக்கிடையே சில ஒற்றுமைகள் உள்ளன.

639 விறைப்புக் குணகம் (Rigidity modulus)



ஒரு செவ்வக வடிவப் பொருளின் கீழ்ப்பகுதி aDCc நிலையான ஒரு பக்கத்தைப் பெற்றுள்ளதாயும் மேற்பகுதியில் F என்ற தொடுவிசை (tangential force) ஏதேனும் ஒரு திசையில் செலுத்தப்படுவதாகவும் கொள்வோம். இதில் A என்ற புள்ளி A' என்றும், B என்ற புள்ளி B' என்றும், d என்ற புள்ளி d' என்றும் மற்றும் b என்ற புள்ளி b' என்றும் மாறுகிறது. மேலும் இரு செவ்வகத்தின் பக்கங்களை இணைக்கும் கோடுகள் கோணம் θ (ரேடியன்) திருப்பப் படுகிறது. L என்பது விசை செலுத்தப் படும் முன்பு இருந்த பக்க நீளம். l என்பது விசை செலுத்தப்பட்ட பின்பு ஏற்பட்ட நீளம். இப்போது

$$\text{விறைப்பு க் குணகம்} \; n = \frac{FL}{al}.$$

640 வேண்ட் ஹாஃப் விதி (van't Hoff's Law)

வாயுக்களுக்கு இயக்கக் கொள்கை இருப்பது போல, கரைசல்களுக்கும் ஒரு இயக்கக் கொள்கையை வகுத்துத் தந்தவர் வேண்ட் ஹாஃப். இவர், ஈறிலா நீர்த்த கரைசல்களுக்கு, வெப்ப இயக்கவியலை அடிப்படையாகக் கொண்டு, PV = RT, என்ற சமன்பாட்டைத் தருவித்தார். வாயுக்களுக்கும், ஈறிலா நீர்த்த கரைசல்களுக்கும் இடையேயுள்ள இந்த நெருங்கிய ஒப்புமையிலிருந்து ஒரு விதியைக் கூறினார். அதாவது கரைந்துள்ள ஒரு பொருளின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் அத்திரவத்தின் பருமன் அளவேயுள்ள ஒரு குறிக்கோள் (ideal gas) வாயு அளிக்கும் அழுத்தத்துக்கு சமம் என்பதாகும். இதுவே வேண்ட் ஹாஃப் விதியாகும். இது பெர்க்லி மற்றும் ஹார்ட்லி என்பவர்களின் துல்லியமான முடிவுகளால் சரிபார்க்கப்பட்டிருக்கிறது.

641 ஸ்டோக்ஸ் விதி (Stokes' law)

r என்ற ஆரமுள்ள ஒரு கோளக வடிவ எஃகுக் குண்டு, η என்ற பாகியல் எண் கொண்ட நீர்மத்தின்வழியே சீரான திசைவேகத்துடன் (V) செல்லும்போது, அக்கோளக வடிவமான பொருளின்மீது பாகியல் பின்னிழுப்பினால் ஏற்படும் எதிர்முடுக்கத்தின் (F) அளவு $F = 6\pi\eta rv$ என ஸ்டோக்ஸ் கண்டறிந்தார். இதுவே ஸ்டோக்ஸ் விதி எனப்படுவது. இந்த சமன்பாட்டை பரிமாணக் கெழுக்களைப் பயன்படுத்திக் கீழ்க்கண்டவாறு பெறலாம். பாகியல் பின்னிழுப்பினால் ஏற்படும் எதிர்முடுக்கம் $F \propto V$ (திசைவேகம்), $\propto r$ (கோணத்தின் ஆரம்), $\propto \eta$ (ஊடகத்தின் பாகியல் எண்). எனவே, $F = k\, v^a r^b \eta^c$ எனலாம். k

என்பது ஒரு மாறிலி. a, b, c முறையே v, r, η ஆகியவற்றின் பரிமாணக் கெழுக்கள், இந்த அளவுகளின் பரிமாணங்களைப் பதிலீடு செய்தால்,

$$[M L T^{-2}] = [L T^{-1}]^a [L]^b [M L^{-1} T^{-1}]^c.$$

இதிலிருந்து a = 1, b = 1, c = 1 என அறிகிறோம். F = kvrη. k = 6π என ஸ்டோக்ஸ் கண்டுபிடித்தார். எனவே F = 6π vrη.

பொருளின் அடர்த்தி ρ என்றும், ஊடகத்தின் அடர்த்தி σ என்றும் கொண்டால் பொருளின்மீது செயற்படும் கீழ்நோக்குத் திசைவேகம்,

$$= \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - \frac{4}{3}\pi r^3 \sigma g$$

$$= \frac{4}{3}\pi r^3 g(\rho - \sigma).$$

எனவே $6\pi v r \eta = \frac{4}{3}\pi r^3 g(\rho - \sigma)$

$$v = \frac{2}{9}\frac{r^2 g(\rho - \sigma)}{\eta}.$$

ஆகவே பாகியல்புள்ள ஊடகத்தின்வழியே விழுகின்ற சிறிய பொருளின் முற்றுத் திசைவேகம் (v) எனப்படும். பொருளின் முற்றுத்திசை வேகம் 1. அதன் ஆரத்தின் இருமடிக்கு (r^2) நேர்தகவிலும், 2. ஊடகத்தின் அடர்த்திக்கும், பொருளின் அடர்த்திக்கும் உள்ள வேறுபாட்டிற்கு (ρ − σ) நேர்தகவிலும், 3. ஊடகத்தின் பாகுநிலை எண்ணுக்குத் (η) தலைகீழ் தகவிலும் இருக்கிறது.

642 ஹூக் விதி (Hooke's law)

Robert Hooke கி.பி. 1679–ல் மீட்சியியல் பற்றி வெளியிட்ட விதியாகும். 'இறுக்கமும் (stress), திரிபும் (strain) ஒன்றிற்கொன்று நேர்தகவில் இருக்கும். இறுக்கத்திற்கும் திரிபிற்கும் இடையேயான தகவு ஒரு மாறிலியாக (constant) இருக்கும்' என்பதே விதி. இம்மாறிலி மீட்சிக் கெழு (modulus of elasticity) என்றழைக்கப்படும்.

இறுக்கம் (Stress)

ஒரு பொருளின்மீது செலுத்தப்படும் உருக்குலைவு (deform) விசையின் விளைவாக அப்பொருளின் மூலக்கூறுகளின் இடையே தக்க இடப்பெயர்ச்சி ஏற்படுகிறது. அப்பொருளின் உள்ளேயே ஏற்படும் எதிர்விசை செலுத்தப்படும் விசையைச் சமன் செய்ய முயல்வதோடு பொருளின் பழைய நிலைக்குத் திரும்ப முயல்கிறது. இவ்வாறாக ஓரலகு பரப்பில் செலுத்தப்படும் மீட்சி விசை இறுக்கம் எனப்படும்.

திரிபு (Strain)

சமநிலையில் ஒரு பொருளின்மீது ஒரு விசையோ அல்லது விசைகளின் தொகுப்போ செயற்படின் அப்பொருளினுடைய பரிமாணங்களில் (dimensions) ஏற்படும் மாற்றம் திரிபு எனப்படும்.

படைத்தோர் பட்டியல்

படைத்தோர் பட்டியல்

(கட்டுரை எண்கள்)

விளக்கம் பெறும் தலைப்புகள்

விளக்கம் பெறும் தலைப்புகள் (அகர வரிசைப்படி)
எண்: கட்டுரை எண்

கலைச்சொற்கள்
தமிழ் - ஆங்கிலம்

Glossary
Tamil - English

அகப்புறச் சுழற்சி - Precession
அக வளைவுத் திருப்புதிறன் - Internal bending moment
அச்சாணி - Axle
அடர்த்தி - Density
அடர்த்தி நிலைச் சார்பம் - Density state function
அடித்தளம் - Basement
அடிப்படை - Basis
அடிப்படை இடைவினைகள் - Fundamental interactions
அடிப்படைச் சுரம் - Fundamental note
அடிப்படைத் துகள்கள் - Elementary particles
அடி மைய அலகு செல் - Base centred unit cell
அடிவாய் - Base
அடைவுறா வரையறை - Non-holonomic constraint
அடைவுறு வரையறை - Holonomic constraint
அண்டம் - Universe
அணி - Matrix
அணிக்கோவை அளபுறு - Lattice parameter
அணிக்கோவை இடைவெளிகள் - Lattice spacings
அணிக்கோவைத் தளங்கள் - Lattice planes
அணிக்கோவைப் புள்ளி - Lattice point
அணிக்கோவை மாறிலி - Lattice constant
அணிக்கோவை வகைகள் - Lattice types
அணிக்கோவை வெப்ப ஏற்புதிறன் - Lattice heat capacity
அணு அமைப்புக் கூற்றெண் - Atomic form factor
அணு, அணுக்கரு இயல்பியல் - Atomic and nuclear physics
அணு ஆரங்கள் - Atomic radii
அணு ஆற்றல் - Atomic energy
அணு எடை - Atomic weight
அணுக் கதிர்வீச்சு - Nuclear radiation
அணுக்கரு - Nucleus
அணுக்கரு ஆற்றல் - Nuclear energy
அணுக்கரு உலை - Nuclear reactor
அணுக்கருக் காந்தம் - Nuclear magnet
அணுக்கருக் காந்த ஒத்ததிர்வு - Nuclear magnetic resonance
அணுக்கருத் தற்சுழற்சி - Nuclear spin
அணுக்கரு நான்முனை ஒத்ததிர்வு - Nuclear quadrupole resonance
அணுக்கருப் பிணைவு - Nuclear fusion
அணுக்கருப் பிளவு - Nuclear fission
அணுக்கரு பரா காந்த ஒத்ததிர்வு - Nuclear para magnetic resonance
அணுக்கரு மாதிரிகள் - Nuclear models
அணுக்கரு மாலைகள் - Nuclear spectra
அணுக்கரு மாற்றம் - Transmutation
அணுக்கரு மின்னியல் நான்முனைவிளைவு - Nuclear electric quadrupole effect
அணுக்கரு விசைகள் - Nuclear forces
அணுக்கருவியல் பூங்கா - Nuclear park
அணுக்கரு வினை - Nuclear reaction
அணு குண்டு - Atomic bomb
அணு நிறமாலை - Atomic spectrum
அணு மாதிரிகள் - Atomic models
அணைப்பு எண் - Co-ordination number
அதிபருமன் - Hyper - volume
அதிர்ச்சி அலைகள் - Shock waves
அதிர்வு நிறமாலை - Vibrational spectrum
அதிர்வெண் - Frequency
அமைப்பு வழுக்கள் - Structural defects
அயனி ஆரங்கள் - Ionic radii
அயனிப் படிகம் - Ionic crystal
அயனியாக்கு கலம் - Ionisation chamber
அரிதில் கடத்திகள் - Bad conductors
அருமண் அயனி - Rare-earth ion
அலகு செல் - Unit cell
அலகு திசையி - Unit vector
அலகு முறைகள் - Systems of units
அலைக் கொள்கை - Wave theory
அலைச் சார்பம் - Wave function
அலைத் திசையி - Wave vector
அலை- துகள் - Wave - particle
அலைப்பண்பு - Wave nature
அலைப் பெட்டகம் - Wave packet
அலையியக்கம் - Oscillation
அலை வரைவி - Oscillograph
அலை வழிநடத்திகள் - Wave guides
அலைவுறு மாற்றங்கள் - Periodic alterations
அழிப்பு இயக்கி - Annihilation operator
அழுத்த மையம் - Centre of pressure
அளபுறு - Parameter
அளவு - Optimum
அனுமதிப்பு - Permitivity
அனுமான விதி - Empirical law
ஆக்கச் சார்பம் - Generating function
ஆக்கச்சார்பான குறுக்கீட்டு விளைவு - Constructive interference
ஆயக்குறியீடு - Co-ordinate representation
ஆயக்கோட்டு அச்சுகள் - Axes of coordinates

ஆயமாற்றங்கள் - Co-ordinate transformations
ஆர அலைச் சமன்பாடு - Radial wave equation
ஆர அலைச் சார்புகள் - Radial wave functions
ஆலபா துகள் சிதைவு - Alpha particle decay
ஆளுகைச் சுற்று - Control circuit
ஆவியாதல் - Vapourisation
ஆற்றல் இயல்பியல் - Energy physics
ஆற்றல் இருப்பு - Energy content
ஆற்றல் - உந்தம் தொடர்பு - Energy-momentum relation
ஆறறல் சமபங்கீடு - Equipartition of energy
ஆற்றல் சேமிப்பு - Energy storage
ஆற்றல் நெடுகை - Energy range
ஆற்றல் பட்டைகள் - Energy bands
ஆற்றல் பட்டை வரைபடம் - Energy band diagram
ஆற்றல் மட்டம் - Energy level
ஆற்றல் மாற்றிப் பெருக்கி - Transducer amplifier
ஆற்றல் வெளியிடு விளைவு வினை - Endoenergic reaction
ஆஸ்டன் நிறைமாலைமானி - Aston's mass spectrograph
இசை/இசையிலி அலையியற்றி - Harmonic / Anharmonic oscillator
இசை ஒலியியல் - Musical acoustics
இசைவு - Rhythm
இடப்பெயர்வு திசையிகள் - Translation vectors
இட பெயர்வு நிகழ்வு தகவு - Transition probability
இடமாறறங்கள் - Dislocations
இடை அமர்வுகள் - Interstitials
இடை முகப்புத்தளம் - Interface
இடையொழுங்கு (காலவொழுங்கு) - Periodicity
இடைவிடா மின்னோட்டம் - Persistent current
இடைவிரவல் - Transfusion
இடை வினை - Interaction
இணைக்கற்றை - Parallel beam
இணைத்தட்டு மின் தேக்கி - Parallel plate condenser
இணைதிறன் - Valence
இணைதிறன் படடை - Valence band
இணைப்பி - Coupler
இணைப்புப் பெருக்கி - Bridge amplifier
இணைமாறறுப் புள்ளிகள் - Conjugate points
இணையாக்கல் ஆற்றல் தொடர் - Pairing energy term
இயக்க மாறிலிகள் - Constants of motion
இயக்கி - Trigger
இயல்பற்ற கதிர் - Extraordinary ray
இயல்பான கதிர் - Ordinary ray
இயல்பியல் கட்புலன் அளவுப் பண்பு - Physically observable quantity
இயல்பு ஆயங்கள் - Normal co-ordinates
இயல்பு இயக்கங்கள் - Normal modes
இயல்பு நிகழ்வு முறை - Normal process
இயல்பு வெப்பச்சலனம் - Natural convection
இயலமைப்புக் கூற்றெண் - Structure factor
இயற்கை வாயு - Natural gas
இரட்டை - Couple
இரட்டை ஒளிவிலக்கம் - Birefringence / Double refraction
இரட்டைச் சாய்வு மாற்றி - Dual slope converter
இரட்டைப் பட்டகம் - Biprism
இரட்டைப் பண்பு - Dual nature
இரட்டைப் பாய்ம மாதிரி - Two-fluid model
இரண்டாம் ஒலி - Second sound
இரண்டாம் நிலை - Secondary
இரண்டாம் நிலை அயனிகள் - Secondary ions
இரம்பப்பல் மின்னழுத்தத் துடிப்புகள் - Saw tooth voltage pulses
இரு செவி ஒலி - Binaural sound
இருநிறம் காட்டும் பண்பு - Dichroism
இருபடி எதிர்தகவு விதி - Inverse square law
இருமுனை அடுக்கு - Dipole layer
இருமுனை திருப்புதிறன் - Dipole moment
இரைச்சல் - Noise
இரைச்சல் குறைப்பான் - Silencer
இலக்கவகைக் கணினி - Digital computer
இலக்கவகைச் சைகை - Digital signal
இறுக்கம் - Stress
ஈர்ப்பு வகை - Attractive type
ஈர்ப்பு விதி - law of gravitation
ஈர அளவியல் - Hydrometry
ஈரச்சுப் படிகம் - Biaxial crystal
ஈறிலி - Infinite
ஈனுலை - Breeder reactor
உகப்பு நிலை - Orientation
உச்சப்புள்ளி மின்னழுத்தம் - Peak point voltage
உட்கவர் கெழு - Absorption coefficient
உட்கவர்தல் - Absorption
உட்கவர் நிறமாலை - Absorption spectrum
உட்கவர் பட்டைகள் - Optical absorption bands
உட்கவர் வரிகள் - Absorption lines
உட்புகுதிறன் - Susceptibility; Permeability
உட்புகுதிறன் மானிகள் - Permea meters

உடனிகழ்வு - Simultaneity
உடனிகழ்வு அய்கன் சார்பங்கள் - Simultaneous Eigen functions
உடனிகழ்வு பற்றிய சார்பியல் - Relativity of simultaneity
உண்மை வாயு - Real gas
உந்த அழிவின்மை - Conservation of momentum
உந்தம் - momentum
உம்கிலாப் நிகழ்வு முறைகள் - Umkilap processes
உமிழி - Emitter
உயர்படி ஒளிவரிகள் - High resolution spectrum
உயரமானி - Altimeter
உயரும் நேரம் - Rise time
உயவு எண்ணெய் - Lubricant
உயிர்ப்பற்ற கூறுகள் - Passive components
உயிரின ஆற்றல் - Bio-energy
உயிரினச் சிதைவு - Bio-degradation
உயிரின மாற்றம் - Bio-conversion
உராய்வு விதிகள் - Laws of friction
உருக்குலைவு - Deformation
உருகுதல் - Fusion
உருமாதிரி அலகு - Representative unit
உருவ அமைப்பு - Shape
உருவ மைய அலகு செல் - Body centred unit cell
உருளைச் சுருள் - Solenoid
உலைவு - Perturbation
உலோகங்கள் - Metals
உலோகப் படிகங்கள் - Metallic crystals
உள்ளகம் - Core
உள்ளார்ந்த குறைகடத்தி - Intrinsic semi conductor
உள்ளார்ந்த கோண உந்தம் - Intrinsic angular momentum
உள்ளிட அழுத்தம் - Internal pressure
உள்ளிட ஆற்றல் - Internal energy
உள்ளீடுகள் - Inputs
உள்ளீடு சமன் செய்யாத மின்னழுத்தம் - Input offset voltage
உள்ளீடு மின்மறுப்பு - Input impedance
உள்ளுறை வெப்பச் சமன்பாடு - Latent heat equation
உள்ளுறை வெப்பம் - Latent heat
உள்ளெரி எந்திரம் - Internal combustion engine
உறுதிப்பாடிலாமைக் கோட்பாடு - Uncertainty principle
உறைபனிப் பொதிவு - Frost

ஊட்டப்படுத்தல் - Doping
எண்ணிக் கண்காணிக்கும் முகிற்கலம் - Counter controlled cloud chamber
எண்மம் - Octave
எதிர் சுழற்சிக் கோண உந்தம் - Orbital angular momentum
எதிர்திசை மின்னழுத்தம் - Reverse voltage
எதிர்திசை மின்னோட்டம் - Reverse current
எதிர்துகள் - Antiparticle
எதிர் பருப் பொருள் - Antimatter
எதிர்பார்ப்பு மதிப்பு - Expectation value
எதிர் பெரோ மின்னியல் - Anti ferro electricity
எதிர் மறை வெப்பநிலை - Negative temperature
எதிர்மாறாக்கல் - Inversion
எதிர் மின்தடை - Negative resistance
எதிர் முழக்கம் - Reverberation
எதிரொலிப்பு எண் - Acoustic reflectivity
எதிரொலிமானி - Echometer
எதிரொளிப்பு - Reflection
எந்திரம் - Machine
எந்திரவியல் குலைவு - Mechanical distortion
எரிபொருள் மின்கலம் - Fuel electric cell
எலக்ட்ரான் கைப்பற்றல் - Electron capture
எலக்ட்ரான் தற்சுழற்சி ஒத்ததிர்வு நிறமாலையியல் - Electron spin resonance spectroscopy
எலக்ட்ரானிய நிறமாலை - Electronic spectrum
எலக்ட்ரானிய முனைவாக்கம் - Electronic polarization
எலக்ட்ரானியல் - Electronics
எளிய கனசதுரம் - Simple cubic
எறிதளம் - Projected area
எறிதுகள் - Projectile
எறிபாதை -Trajectory
ஏற்பி - Collector
ஏற்பி வேற்றுப் பொருள்கள் - Acceptor impurities
ஏற்பு நிலைகள் - Acceptor states
ஐசோடோப்பு பெயர்ச்சி - Isotope shift
ஐயப்பாட்டுக் கொள்கை - Principle of indeterminacy
ஒட்டுவிசை - Adhesive force
ஒத்ததிர்வு - Resonance
ஒத்ததிர்வி - Resonator
ஒத்ததிர்வு எண் - Resonance frequency
ஒத்த துகள்கள் - Identical particles
ஒத்திசையாத உள்ளீடுகள் - Asynchronous inputs

ஒத்திசைவு - Consonance
ஒப்புமை - Parity
ஒருகல்லில் ஆன - Monolithic
ஒருங்கிசை - Harmony
ஒருங்கிசைவு - Symmetrical
ஒருங்கிணைவு ஆற்றல் - Cohesive energy
ஒருங்கிணைவு விசை - Cohesive force
ஒரு தளப்பார்வை - Astigmatism
ஒரு முனை - Single phase
ஒரே சமயத்தில் - Simultaneously
ஒலி அதிர்வெண் மாலை - Sound spectrum
ஒலி ஆற்றல் - Acoustic energy
ஒலி இணைமாற்றத் தேற்றம் - Acoustic reciprocity theorem
ஒலி ஒத்ததிர்வு - Acoustic resonance
ஒலிக்கீற்றணி - Acoustic grating
ஒலி நிறமாலை - Acoustic spectrum
ஒலிப்பான்கள் - Speakers
ஒலிமுழக்கம் - Sonic boom
ஒலியன் - Phonon
ஒலியியல் - Acoustics
ஒலியின் பண்பு - Quality of sound
ஒலி வடிப்பான்கள - Acoustic filters
ஒலி வாங்கி - Microphone
ஒளி அளவியல் பொலிவு - Photometric brightness
ஒளி உணர்ச்சியுள்ள - Photosensitive
ஒளி உமிழும் டையோடுகள் - LEDS
ஒளிசார் மின்கடத்தல் - Photoconductivity
ஒளி சார்ந்த மின்தடைகள் - LDRS
ஒளித் துகள் - Photon
ஒளித துடிபபு - Light pulse
ஒளிப் பிறழ்ச்சி - Optical aberration
ஒளிமானி - Light meter
ஒளிமின எதிர்வாயில் - Photocathode
ஒளி மின்கலம் - Photocell
ஒளிமின் பெருக்கி - Photomultiplier
ஒளிமின் விளைவு - Photoelectric effect
ஒளி - மின்னழுத்த விளைவு - Photo - voltaic effect
ஒளியியல் - Optics
ஒளியியல் ஒப்புமை - Optical analogy
ஒளியியல் பாதை - Optical path
ஒளியின் எலக்ட்ரான் - Photoelectron
ஒளியின் குறுக்கீட்டு விளைவு - Interference of light
ஒளியின் நுண்ணணிமக் கொள்கை - Corpuscular theory of light
ஒளிர்தலும் நின்றொளிர்தலும் - Fluorescence and phosphorescence
ஒளிர்வு - Fluorescence
ஒளி விலகல் எண் - Refractive index
ஒளி விலகல் விதிகள் - Laws of refraction
ஒழுங்கிசை - Melody
ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டர் - Uni - Junction transistor
ஒற்றையணு அணிக்கோவை - Monoatomic lattice
ஓய்வுப்பொருண்மை மற்றும் ஓய்வு ஆற்றல் - Rest mass and rest energy
ஓரச்சுப் படிகம் - Uniaxial crystal
ஓரியல் - Coherent
ஓரியல் நீளம் - Coherence length
கசிவு - Transpiration
கட்டக் கோணம் - Phase angle
கட்டட ஒலியியல் - Architectural acoustics
கட்டத் திசைவேகம் - Phase velocity
கட்டத் தொகுப்பு - Phase integral
கட்டப் பெயர்ச்சி - Phase shift
கட்டப் பெயர்ச்சி அலை இயற்றி - Phase - Shift oscillator
கட்டப் பெயர்ச்சி மின்சுற்று - Phase shift network
கட்டமைப்பு (இயலமைப்பு) - Structure
கட்ட வெளி - Phase shift
கட்டுறுதிச் சுழலி - Rigid rotator
கட்டுறுதிப் பொருள் இயக்கம் - Rigid body motion
கடத்தல் எலக்ட்ரான் - Conduction electron
கடத்தாப் பொருட்கள் - Insulators
கடத்தி - Conductor
கண்ணாடி - Glass
கணக்கீடுகள் - Problems
கணக்கீடு தர்க்கப் பகுதி - ALU
கணினி அறிவியல் - Computer science
கணினிப் பரிமாற்று அமைப்பு - Computer interface
கதிர் அலைவுமானி - Ray oscilloscope
கதிர்கள் - Rays
கதிரியக்கக் கார்பன் கொண்டு ஆயுள் மதிப்பிடல் - Radio carbon dating
கதிரியக்கம் - Radio activity
கதிர் வீச்சு - Radiation
கதிர் வீச்சு அழிவு - Annihilation radiation
கதிர் வீச்சுக்கான குவாண்டம் கொள்கை - Quantum theory of radiation

கம்புரு பகுதி - Sagittal section
கரும் பொருள் கதிர்வீச்சு - Black body radiation
கரைதிரவம் - Solvent
கரைபொருள் - Solute
கலக்க ஓட்டம் - Turbulent motion
கலப்பு இணைமாற்று (எண்) - Complex conjugate
கலவைப் பூச்சு - Emulsion
கவள (குவாண்டம்) எந்திரவியல் - Quantum mechanics
கழி நுண்ணிகள் - Infinitesimals
கழிவு - Effluent
கற்றைக் கதிர்வீச்சு - Beam radiation
கன் விளைவு - Gunn effect
கனநீர் - Heavy water
காந்த அழுத்தம் - Magnetic potential
காந்த இருமுனை - Magnetic dipole
காந்த ஏற்புதிறன் - Magnetic susceptibility
காந்தச் செறிவுப் பெருங்கூறு - Magnetic domain
காந்தத் தயக்கம் - Hysteresis
காந்தத் திருப்புதிறன் - Magnetic moment
காந்தப் பரிமாண மாற்றுமுறை - Magneto-striction method
காந்தப் பாய்ம இயக்கவியல் - Magneto-hydrodynamics
காந்தப் புலம் - Magnetic field
காந்தப் பெருக்கி - Magnetic amplifier
காந்தப் பொருட்கள் - Magnetic materials
காந்தமாக்கல் - Magnetisation
காந்தமாக்கலின் நிறைச்செறிவு - Saturation magnetisation
காந்தவிசைக் கோடுகள் - Magnetic lines of force
காமா கதிர் கண்டுணர்வி - Gamma ray detector
கால மடிப்பு இயக்கம் - Periodic motion
கானல் நீர் - Mirage
கிளர்ச்சி ஆற்றல் - Excitation energy
கிளர்வு நிலைகள் - Excited states
கிளைச் சுரங்கள் - Harmonics
கீழ்மாறுநிலை - Subcritical
குதிரை ஆற்றல் - Horse power
குமிழ் கலம் - Bubble chamber
குழுத் திசைவேகம் - Group velocity
குவி வில்லை - Convex lens
குளிர்ப்பான் - Coolant
குளிர்பதனம் - Refrigeration
குற்றலைகள் - Ripples
குறிக்கோள் வாயு - Ideal gas
குறியீட்டு எண்கள் - Indices
குறுக்கீட்டு விளைவு - Interference
குறுக்கீட்டு விளைவுமானி - Interferometer
குறுக்கு - Transverse
குறுக்கு நிறை - Transverse mass
குறு நெடுகை விசைகள் - Short-range force
குறை கடத்திகள் - Semiconductors
குறைநிலைத் தன்மையுடைய - Quasi stable
குறைபாடுகள் - Imperfections
குறையுடை வளி - Imperfect gas
குறைவான மின் தடை - Low resistance
கூட்டமைப்பு - Ensemble
கூடடுப்படிகம் - Polycrystal
கூட்டு வில்லை - Compound lens
கூட்டுறவு நிகழ்வுகள் - Co-operative phenomena
கூட்டோசை - Combination tone
கூடு மாதிரி - Shell model
கூழ்ப் படல அடுக்கு - Emulsion stack
கூழ்ப் பொருட்கள் - Colloids
கெழுக்கள் - Coefficients
கேள் அதிர்வெண் நெடுக்கம் - Audio frequency range
கேள்திறமானி - Audiometer
கேள்திறன் அளவியல் - Audiometry
கேளா ஒலிகள் - Ultrasonic
கொடை வேற்றுப் பொருள்கள் - Donor impurities
கோட்டமிலா வில்லை - Aplanatic lens
கோட்டுத் தொகையீடு - Line intergral
கோண அதிர்வு எண் - Angular frequency
கோண உந்தம் - Angular momentum
கோணத் தாக்களவு - Angular impulse
கோணத் திசைவேகம் - Angular velocity
கோணப் படிகள் - Angular steps
கோணமாறி - Angle variable
கோள்மண்டலம் - Galaxy
கோளகப் பிறழ்ச்சி - Spherical aberration
கோளவடிவக் கூடுகள் - Spherical shells
கோளியக்கம் - Planetary motion
சகப்பிணைப்பு - Covalent bond
சகப்பிணைப்புப் படிகம் - Covalent crystal
சங்கிலித் தொடர்வினை - Chain reaction
சம அழுத்தப் பரப்பு - Equipotential surface
சம உருவக் கட்டமைப்பு - Isomorphism
சமச்சீர் ஆக்கக் கூறுகள் - Symmetry elements
சமச்சீர் இயக்கி - Symmetry operator
சமச்சீர் செயற்பாடு - Symmetry operation
சமச்சீர் கோளம் - Spherically symmetric

சமச்சீர்மையற்ற - Asymmetrical
சமச்சீர் வகை - Symmetric type
சமச்சீர் வெளி - Isotropy of space
சமநிலைக்கொள்கை - Principle of equivalence
சமவெப்பநிலை - Isothermal
சமன் செய்யா மின்னழுத்தம் - Off-set voltage
சமன்பாடு - Equation
சமனச்சுற்று - Bridge
சமனில்லா (பயசு) - Bias
சமனிக்கோடு - Equilibrium
சராசரி மோதலிடைத்தூரம - Mean free path
சரியிலாப் பொருத்தம் - Mismatch
சரியீடு - Balance
சரிவுத் தொடர்பு - Gradient relation
சவ்வு - Membrane
சவ்வூடு பரவல் - Osmosis
சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் - Osmotic pressure
சவ்வூடு பரவல் அழுத்த விதிகள் - Laws of osmotic pressure
சறுக்கு அலைகள் - Shear waves
சாய்ந்த மோதல் - Oblique impact
சாயம் - Dye
சார்பம் - Function
சார்பு அனுமதிப்பு - Relative permitivity
சார்பு ஈரப்பதம் - Relative humidity
சார்பு உட்புகுதிறன் - Relative permeability
சார்பு விசை - Relative force
சிதறல் காரணி - Scattering factor
சிதறல நீளம் - Scattering length
சிதறல் வீச்சு - Scattering amplitude
சிதைவு - Disintegration
சிதைவு மாறிலி - Decay constant
சிறப்புச் சார்பியல் கொள்கையின் எடுகோள்கள் - Postulates of special theory of relativity
சிறிய துளை - Aperture
சிறு அலைவியக்கங்கள் - Small oscillations
சிறுநீர்ப்பைகள் - Bladders
சீர்குலைவு - Disorder
சீர் கோட்டியக்கம் - Stream-lined motion
சீர்மப் படிகம் - Perfect crystal
சுட்டுப் படம் - Indicator diagram
சுணக்க வரிகள் - Delay line
சுரங்கப்பாதைகள் - Tunnels
சுரங்கப் பாதை விளைவு - Tunnelling effect
சுரப்பண்பு - Quality of timbre
சுரம் - note
சுருகக நிறை - Reduced mass
சுருக்கம் - Condensation
சுருதி - Pitch
சுழல் சமச்சீர்மை - Rotational symmetry
சுழல் நிலை - Vortex state
சுழலியக்க நிறமாலை - Rotational spectrum
சுழலும் எலக்ட்ரான் - Spinning electron
சுழற்சி - Rotation
சுழற்சி அச்சு - Rotation axis
சுழற்சி ஆரம் - Radius of gyration
சுழற்சி நிலைப்பி - Gyrostat
சுழற்சி விசை - Torqure
சுழிநிலை ஆற்றல் - Zero point energy
சுற்று - Cycle
சுற்றுப்பாதை - Orbital
சுற்றுப்பாதை எலக்ட்ரான் கைப்பற்றல் - Orbital electron capture
சுற்றுப்பாதை கவள எண் - Orbital quantum number
சுற்றுப்பாதைத் திசைவேகம் - Orbital velocity
சூரிய ஆற்றல் - Solar energy
சூரிய ஆற்றல் குளம் - Solar pond
சூரிய உலை - Solar furnace
சூரிய ஒளியேற்பி - Solar absorber
சூரியத் தட்டிகள் - Solar panels
சூரிய நிறமாலை - Solar spectrum
சூரிய மண்டலம் - Solar System
சூரிய மாறிலி - Solar constant
சூரிய மின் கலம் - Solar cell
சூழ் மின்னூட்டம் - Space charge
செங்குத்துக் கூறு - Normal Component
செங்குத்துத் திசை - Transverse direction
செயல்கோண மாறிகள் - Action-angle variables
செயல் மாறி - Action variable
செயலூட்டப் பகுதிகள் - Active components
செயற்கை - Synthetic
செயற்கைக் கதிரியக்கம் - Artificial radio activity
செயற்படு மதிப்பு - Effective value
செயற்படு பொருண்மை - Effective mass
செலுத்துகை - Transmission
செறிவு - Intensity
தக்க தளம் - Proper frame
தக்க நீளம் - Proper length
தகவி - Ration
தகவு - Ratio
தகுந்த நேர இடைவெளி - Proper time interval
தண்டு - Rod
தணிப்பான் - Moderator
தத்துவம் - Principle

தயக்கக் கண்ணி - Hysteresis loop
தரை நிலை ஆற்றல் - Ground state energy
தலைகீழ் அணிக்கோவை - Reciprocal lattice
தலைகீழ் (எதிரிடை) அணிக்கோவைத் திசையிகள் - Reciprocal lattice vectors
தவிர்க்கைத் தத்துவம் - Exclusion principle
தளர்வு காலம் - Relaxation time
தளர்வு நிகழ்வு - Relaxation process
தளர்வுறு அலையியற்றி - Relaxation oscillator
தளவிளைவாக்குத் தகடு - Polarising sheet
தளவிளைவு (முனைவாக்கம்) - Polarisation
தளவிளைவுக் கோணம் - Angle of polarisation
தற்சிறப்புக் கதிர்வீச்சு வரி - Line of characteristic radiation
தற்சுழற்சி - Spin
தற்சுழற்சி அணிக்கோவைத் தளர்வு- Spin lattice relaxation
தற்சுழற்சி அலை ஒத்ததிர்வு - Spin wave resonance
தற்சுழற்சி கவள எண் - Spin quantum number
தற்சுழற்சி சுற்றுப்பாதைப் பிணைப்பு - Spin orbit coupling
தற்சுழற்சி - தற்சுழற்சி தளர்வு - Spin - Spin relaxation
தற்சுழற்சி மட்டம் - Spin state
தன்மின்தடை - Specific resistance
தன்மின்தூண்டல் - Self induction
தன் வெப்ப எண் - Specific heat
தன்னிகழ்வு முனைவாக்கம் - Spontoneous polarisation
தன்னிச்சைப் பிளவு - Spontaneous fission
தனி ஆற்றல் - Free energy
தனி ஊசல் - Simple pendulum
தனி அனுமதிப்பு - Absolute permitivity
தனிச்சிறப்புச் சார்பம் - Characteristic function
தனிச்சீர் அலைவு - Simple harmonic oscillation
தனிச் சுரம் - Pure tone
தனித்தன்மை - Identity
தனித்தனி - Discrete
தனிப் படிகம் - Single crystal
தனிப் பரப்பு - Free surface
தனிம அட்டவணை - Periodic table
தானியங்கித் தடுப்பான் - Automatic shutter
தானே அயனியாக்குதல் - Auto - ionisation
திசை ஒவ்வாப் பண்பியல் ஆற்றல் - Anisotropic energy
திசைப் பண்பு - Directionality
திசை முகமாக்கு முனைவாக்கம் - Orientational polarisation
திசையி - Vector
திசையி அணுமாதிரி - Vector atom model
திசையி புலம் - Vector field
திசையொத்த பண்புள்ள ஊடகம் - Isotropic medium
திசைவேகக் குவிய முறை - Velocity focussing method
திட்பக்காட்சிக் கருவி - Stereoscope
திண்ம நிலை இயல்பியல் - Solid state physics
திணமம் - Solid
திணிப்பு வெப்பச்சலனம் - Forced convection
திரவத் துளி மாதிரி - Liquid drop model
திரவ வெப்பநிலைமானிகள் - Liquid thermometers
திரிபு - Distortion
திரிபு (நீளக் குறைவு) - Lateral strain
திரிபுப் புலம் - Strain field
திருகு அச்சுக்கள் - Screw axes
திருகு அதிர்வுகள் - Torsional vibrations
திருப்புதத்துவம் - Principle of reversal
திறன் மூலம் - Source of power
துகள் கண்டுணர்விகள் - Particle detectors
துகள்கள் - particles
துகள் முடுக்கி - Particle accelerator
துளை அடைப்பான் - Aperture stop
துளைத் தகவு - Aperture ratio
துளைத்துச் செல்லல் - Tunnelling
துளைப் பிறழ்ச்சி - Aperture aberration
துணையற்ற எலக்ட்ரான்கள் - Unpaired electrons
தூண்டப்பட்ட உமிழ்வு கதிர் - Stimulated emission
தூண்டப்பட்ட மின்புலம் - Induced electric field
தூண்டல் - Induction
தூண்டல் மின்னியக்க விசை - Induced EMF
தெரிவு வழிகள் - Selection rules
தெவிட்டிய (நிறைச் செறிவு) ஆவி - Saturated vapour
தேங்கு காந்தநிலை - Residual magnetisation
தேர்ந்த உட்கவர்தல் - Selective absorption
தேர்ந்து செலுத்துகை - Selective transmission
தேற்றம் - Theorem
தொகுப்புச் சுற்றுகள் - Integrated circuits
தொகைத் தலைகீழாக்கம் - Population inversion
தொகையீடு - Integral
தொடங்குநிலை - Origin

தொடர் தர்க்கச் சுற்று - Sequential logic circuit
தொடர் நிலைமாற்றம் - Continuous transformation
தொடர்வரி - Continuous line
தொடு கோணம் - Angle of contact
தொடுநிலைப் பகுதி - Tangential section
தொடுவிசை - Tangential force
தொலைநோக்கி - Telescope
நகர்திறன் - Mobility
நகர்வுத் திசைவேகம் - Drift velocity
நல்ல கடத்தி - Good Conductor
நாற்பரிமாண வெளி - காலத் தொடர்பம் - Four dimensional space-time continuum
நான்கு மின்முனைத் திருப்புதிறன் - Electirc quadrupole moment
நான் முனைவுப் பாயம் - Quadrupole moment
நிகழ்வியக்கவியல் - Meteorology
நியம நிலை உந்தம் - Canonical momentum
நியமநிலைச் சமன்பாடுகன் - Canonical equations
நியம நிலை மாற்றம் - Canonical tranformation
நியமநிலை மாறிகள் - Canonical variables
நில அதிர்வு தாக்காத கட்டடம் - Quake protect building
நிலநடுக்க வரைவி - Seismograph
நிலநடுக்க வரைவியல் - Seismography
நிலை அலை ஒளிக்கற்றை - Standing wave pattern beam
நிலை அலைவுகள் - Sustained oscillations
நிலைமாற்றி - Converter
நிலைப்புள்ளிகள் - Fixed points
நிலைம ஒப்பிடு தளம் - Inertial reference frame
நிலைமத் திருப்புத்திறன் - Moment of inertia
நிலைம தளம் - Inertial frame
நிலைம நிறை - Inertial mass
நிலைமமற்ற ஒப்பிடுதளம் - Non-Inertial reference frame
நிலைமாறி - Flip flop
நிலைமாறு அழுத்தம் - Critical pressure
நிலைமாறு திசைவேகம் - Critical velocity
நிலைமாறு நிகழ்வுகள் - Critical phenomena
நிலைமாறு பருமன் - Critical volume
நிலைமாறு புள்ளி - Critial point
நிலைமாறு மடிகள் - Critical exponents
நிலைமாறு மாறிலி - Critical constant
நிலைமாறு வெப்பநிலை - Critical temperature
நிலையாற்றல் - Potential energy
நிறப்பிறழ்ச்சி - Chromatic aberration
நிறப் பிறழ்ச்சி நீங்கிய வில்லைகள் - Achromatic lenses
நிறமண்டலம் - Chromosphere
நிறமாலை வரிகள் - Spectral lines
நிறை-ஆற்றல் சமநிலை - Mass energy equivalence
நிறைக் கோவை - Mass formula
நிறைமாலை மானி - Mass spectrometer
நிறை மாறுபடு சமன்பாடு - Mass variation formula
நிறை மையம் - Centre of mass
நிறை வழு - Mass defect
நின்றொளிர் - Phosphor
நினைவுப் பகுதி - Memory unit
நீட்டியலற்ற - Non-linear
நீர்ம நீக்கம் - Dehydration
நீர்ம விரவல் - Liquid diffusion
நீர் மின்சாரம் - Hydro electricity
நீரடி ஒலியியல் - Underwater acoustics
நீள்வட்டத் தளவிளைவு(முனைவாக்கம்) - Elliptical polarisation
நீள்வட்டப்பாதை - Elliptical orbit
நுண்ணலை ஒத்ததிர்வுப் பொந்து - Resonant microwave cavitiy
நுண்ணலை ஒலியியல் - Microwave Acoustics
நுண்ணலை நிறமாலை - Microwave spectrum
நுண்ணியல் கொள்கை - Microscopic theory
நுண்ணுறு தொடர்பு மாற்றம் - Infinitesimal contać transformation
நுண்புழைச் செயல் - Capillary action
நுண்புழைத் தன்மை அலை - Capillarity wave
நுண்வரி அமைப்பு - Fine structure
நுண்வரி இரட்டைகள் - Fine structure doublets
நுண்ணோக்கி - Microscope
நெகிழ்ச்சி அலைகள் - Flexural waves
நெடுகை - Range
நெருக்க அலை - Compressional wave
நேர் - எதிர் மாற்றப் பண்பு விதி - Law of reversibility
நேர்கோட்டுச் சார்பங்கள் - Linear functions
நேர்கோட்டுச் சீரிசை அலைவி - Linear harmonic oscillator
நேர்திசை மின்னழுத்தம் - Direct-curve voltage
நேர்திசை மின்னழுத்த மானி - Direct current voltmeter
நேர்திசை மின்னோட்டமானி - DirectCurrent ammeter
நேர்போக்கு (நீட்டியல்) - Linear

நேர்போக்கு முடுக்கி - Linear accelerator
நேரடி மோதல் - Direct impact
நேரம் போன்ற, இடம் போன்ற - Time like and space like
நேரியல் தளவிளைவுற்ற ஒளி - Linearly polarised light
பகுப்பாய்வு கருவி - Analyser
பங்கீட்டு அடர்த்தி - Density of distribution
பங்கீடு/பரவல் - Distribution
பட்டை நிறமாலை - Band spectrum
படிகக் கட்டமைப்பு - Crystal structure
படிகக் கீற்றணி - Crystal grating
படிகத்தின் ஒளியச்சு - Optical axis
படிகப் பிணைப்பு - Crystal binding
படிக மின்னழுத்தம் - Crystal potential
படி சுழற்றி - Stepper motor
படைப்பு இயக்கி - Creation operator
பண்டை நிறைகள் - Classical masses
பண்டைய எந்திரவியல் - Classical mechanics
பண்டையபுலம் - Classical field
பண்பேற்றம் - Modulation
பதங்கமாதல் - Sublimation
பதப்படுத்தல் - Volatilised
பரப்பு ஆற்றல் - Surface energy
பரப்பு இழுதிறன் - Interfacial tension
பரப்பு இழுவிசை - Surface tension
பரப்புகளிடை விசை - Interfacial force
பரவல் சார்பம் - Distribution fuction
பரிமாணங்கள் - Dimensions
பரிமாற்றத் துகள்கள் - Exchange particles
பரிமாற்றம் - Exchange
பரிமாற்று ஆற்றல் - Exchange energy
பரிமாற்று மின்தூண்டல் - Mutual induction
பரும ஆற்றல் தொடர் - Volume energy term
பரும குணகம் - Bulk modulus
பலகற்றை வரிகள் - Multiple beam fringes
பல்லதிர்வி - Multivibrator
பழுப்பு நிலக்கரி - Lignite
பறக்கும் நேரம் - Time of flight
பாகியல் மற்றும் பாகியல்கெழு - Viscosity and coefficient of viscosity
பாதிப்புக் கோளம் - Sphere of influence
பாதை வேறுபாடு - Path difference
பாய்சான் அடைப்பு - Poisson bracket
பாய்ம நிலை அழுத்தம் - Hydrostatic pressure
பிடிப்புச்சுற்று - Clamping circuit
பிணைப்பு ஆற்றல் - Binding energy
பிரிசார்பங்கள் - Partition functions
பிறைத்தளம் - Meniscus
பின்னல் கட்டமைப்பு - Symplectic structure
பின்னோக்கு சார்பு - Reverse bias
புதுப்பிக்கப்படும் ஆற்றல் - Renewable energy
புலக் கோட்பாடு - Field theory
புலத்துகள் - Field particle
புல வளைவு - Curvature of field
புவிஈர்ப்பு இடைவினை - Gravitational interaction
புவிஈர்ப்பு விசை - Gravitational force
புவிஈர்ப்பு நிறை - Gravitational mass
புவிஈர்ப்புப்புலம் - Gravitational field
புவியதிர் அலைகள் - Seismic waves
புவியின் காந்தப்புலம் - Earth's magnetic field
புள்ளிக் குழு - Point group
புள்ளியியல் - Statistics
புறத்திரிநிலைக் கடத்துகை - Extrinsic conductivity
புறப்பரப்பு நிலைகள் - Surface levels
புறப்பரப்பு விளைவு - Skin effect
புறப் புல விசை - External field of force
புற வளைவுத் திறன் - External bending moment
புறவிசை இரட்டை - External couple
புற யுரேனியத் தனிமங்கள் - Transuranic elements
பெயர்வு வெப்பநிலை - Transition temperature
பெயர்வு நெடுகை - Range of transition
பெரி காந்தம் - Feri magnetism
பெருகு பொழிவு - Avalenche
பெருங்கூறு அமைப்பு - Domain structure
பெருங்கூறுக் கொள்கை - Domain theory
பெரோ காந்தம் - Ferro magnetism
பேரி வடிவம் - Pear shaped
பொதிவு பின்னம் - Packing fraction
பொதுமை ஆயக்கூறுகள் - Generalised co-ordinates
பொதுவகை உள்ளீடு - Common mode input
பொதுவகை ஒதுக்கித் தகவு - Common mode rejection ratio
பொது வடிகால் - Common drain
பொது வாயு மாறிலி - Universal gas constant
பொருட்பண்பியல்புகள் - Properties of matter
பொழிவு - Effusion
பொழிவு வீதம் - Rate of effussion
பொறி நிறமாலை - Spark specrtra
மசகுக் கொழுப்பு - Grease
மட்டம் பிரிக்கவொண்ணா - Non-degenerate
மண்டலத் தட்டு - Zone plate

மறு இயல்பாக்கக் குழுக்கொள்கை - Renormalization group theory
மறு உறைதல் - Regelation
மறுதரவு சமன்பாடு - Recurrence formula
மாதிரி - Model
மாதிரி நிலைச் சுற்று - Sample-and-hold circuit
மாய எண் - Magic number
மாற்றம் - Transformation
மாற்றீடு செயலிகள் - Commuting operators
மாற்று ஆற்றல் - Alternative energy
மாற்றுச் சமன்பாடுகள் - Transformation equations
மாறிலி - Constant
மாறுதலின்மை - Invariance
மாறுதிசை காந்தப்புலம் - Alternating magnetic field
மாறுதிசை மின்னோட்ட மானி - Alternating current ammeter
மிகுமின் கடத்திகள் - Superconductors
மிகைவேக மையவிலக்கிகள் - Ultra centrifuges
மிதவைக் காப்பு உயரம் - Meta centric height
மிதவைக் காப்பு மையம் - Meta Centre
மினிர்தல் - Scintillation
மினிர்தல் எண்ணி - Scintillation counter
மின் இடப்பெயர்ச்சி - Electric displacement
மின் இருமுனை - Electirc dipole
மின் ஏற்புத்திறன் - Electic susceptitility
மின்கடத்தாப்பொருள் - Dielectric
மின்கடத்தாப் பொருள் மாறிலி - Dielectric constant
மின்கடத்தாப்பொருளின் சரிவு நிலை - Dielectric breakdown
மின கடதது திறன - Electrical conductivity
மின் கடத்தும் பட்டை - Conduction band
மின் கலம் - Battery
மின்காந்த இடைவினை - Electromagnetic interaction
மின் காந்த நிறமாலை - Electromagnetic spectrum
மின் காந்தம் - Electro magnet
மின் காந்த விசை - Electromagnetic force
மின் தடை - Resistance
மின்தடை எண் (தடைத்திறன்) - Resistivity
மின்தடை வெப்ப நிலைமானி - Resistance thermometer
மின்தண்டுக் குழாய்கள் - Electrode tubes
மின் தூண்டல் உலைகள் - Induction furnaces
மின்தேக்கி இணைப்புச் சுற்றுகள் - Capacitor couplling circuits
மின்தேக்கு திறன் - Capacitance
மின்நேர் - Electropositive
மின்பகு பொருட்கள் - Electrolytes
மின் பிம்பங்கள் - Electric images
மின் புலம் - Electrostatic field
மின்புல விளைவு டிரான்சிஸ்டர் - Field effect transistor
மின்பொறி - Electric spark
மின்பொறிக் கலன் - Spark chamber
மின்மறுப்பு - Inductance
மின் மறுப்புப் பொருத்தம் - Impedance matching
மின் மாற்றி - Transformer
மின்மாற்றி உள்ளகம் - Transformer core
மின்மானி - Electrometer
(மின்) மிகைப்பி, பெருக்கி - Amplifiers
மின் முனைவாக்கம் - Electric polarization
மின் விசைக்கோடுகள் - Electric lines of force
மின் வெளி மாறிலி - Electric space constant
மின்னழுத்த அலை - Voltage wave
மின்னழுத்த மானி - Voltmeter
மின்னழுத்தப் பெருக்கம் - Voltage gain
மின்னழுத்தம் - Electric potential
மின்னழுத்தமானி - Potentiometer
மின்னழுத்த மிகைப்பு - Voltage amplification
மின்னழுத்த வேறுபாடு - Potential difference
மின்னாக்கி - Electric generator
மின்னியங்கு விசை - Electromotive force
மின்னியல் - Electricity
மின்னியற்றி - Generator
மின்னூட்ட அடர்த்தி - Charge density
மின்னூட்ட இணைமாற்றம் - Charge conjugate
மின்னூட்ட ஊர்தி - Charge carrier
மின்னூட்டப் பகிர்வு - Charge distribution
மின்னூட்ட மாறாமை - Charge invariance
மின்னோட்டம் - Electric current
மின்னோட்டமானி - Ammeter
மீ உயர்வு ஒலியியல் - Hypersonics
மீக்கடத்து திறன் - Superconductivity
மீச்சிறு செயலளவுத் தொகைக் கோட்பாடு - Principle of least action
மீட்சிக் கெழு - Modulus of elasticity
மீட்சியியல் - Elasticity
மீட்சியியலாச் சிதறல் - Inelastic scattering
மீட்சியியல் அலைகள் - Elastic waves

மீட்சியியல் சோர்வு - Elastic fatigue
மீட்சியியல் பின்னடைவு - Elastic hystersis
மீட்பு இரட்டை - Restoring couple
மீ நுண் நியம நிலை மாற்றம் - Infinitesimal canonical transformation
மீ நுண் வரி அமைப்பு - Hyperfine structure
மீ நுண் வரிபிரிப்பு - Hyperfine splitting
மீப்பண்பொத்த கூட்டமைப்பு - Grand canonical ensemble
மீப்பண்பொத்த பங்கீடு - Grand canonical distribution
மீயெதிரொலி - Ultrasonic echo
மீயொலி அலை - Ultrasonic wave
மீள் தன்மை - Resilience
முகப்பு - Elevation
முகமைய அலகு செல் - Face centred unit cell
முகமைய கனசதுரம் - Face centred cubic
முகிற் கலம் - Cloud chamber
முதன்மை - Primary
முதன்மை அலைகள் - Primary waves
முதன்மைவரி - Parent line
முப்புள்ளி - Triple point
மும் முனை - Three phase
மும்மை மட்டம் - Triplet state
முழு அக எதிரொளிப்பு - Total internal reflection
முழு எண் மடங்குகள் - Integral multiples
முழுமைக் காலம் - Absolute time
முழுமை வெளி - Absolute space
முற்றுப் பெற்ற கட்டமைப்பு - Close packed
முற்றுப் பெற்ற பாதை - Closed path
முறிவு மின்னழுத்தம் - Break down voltage
முறிவு டையோடுகள் - Break down diodes
முன்னிலை - Vicinity
முன்னோக்குச் சார்பு - Forward bias
முன்னோக்கு மின்னழுத்தம் - Forward voltage
முனைவாக்க நுண்ணோக்கி - Polarising microscope
முனைவாக்கப் பேரழிவு - Polarisation Catastrophe
மூல அலகு செல் - Primitive unit cell
மூலக்கூறுகளின் இயக்கக் கோட்பாடு - Kinetic theory of molecules
மூலக்கூறுகளைச் சார்ந்த உறைநிலை வீழ்ச்சி - Molecular depression freezing point
மூலக்கூறுகளைச் சார்ந்த கொதிநிலை உயர்வு - Molecular elevation of the boiling point
மூலக்கூறு பருமன் - Molecular volume
மூலக்கூறு விசைகள் - Molecular forces
மூலம் - Primitive
மூலம் பின்பற்றி - Source follower
மெய்ப்பிப்பு மீள் தன்மை - Proof resillience
மேல் நிலைக் கானல் நீர் - Superior mirage
மேலாடை வளர்ப்பு - Epitaxial growth
மேற்சுரங்கள - Overtones
மேற்பரப்பு அலைவுகள் - Surface oscillations
மேற்பொருத்தல் தத்துவம் - Principle of superposition
மையநோக்கு விசை - Centripetal force
மைய விசை இயக்கம் - Central force motion
மைய விலக்கு விசை - Centrifugal force
மொத்த அலைச்சார்பம் - Total wave function
மோதல் - Impact
மோதல் அளபுறு - Impact parameter
மோதல் நிலைமீட்சிக் குணகம் - Impact - coefficient of restitution
வகையீட்டு ஒளிவிளக்கச் செறிவு - Differential luminous intensity
வகையீட்டுக்குறி - Differential
வட்ட ஆயங்கள் - Cyclic coordinates
வரி அகலம் - Line width
வரி மாலை - Line spectrum
வரிக் கண்ணோட்டம் - Scanning
வரிக் கூறுகள் - Line segments
வரையறை - Constraint
வலுக்குறைவான அணுக்கரு இடைவினை - Weak nuclear interaction
வலுவுள்ள அணுக்கரு இடைவினை - Strong nuclear interaction
வழங்கு நிலைகள் - Donor states
வறட்சி அடுக்கு - Depletion layer
வறட்சிப் பகுதி - Depletion region
வளி அழுத்தம் - Atmospheric pressure
வளிமண்டல நீராவி - Water vapour
வளைவுத் திருப்புதிறன் - Bending moment
வளைவு விசை இரட்டை - Bending couple
வாயு - Gas
வாயு வெப்பநிலைமானிகள் - Gas thermometers
வாழ் நேரம் - Life time
வான் நிலையியக்கவியல் - Celestial mechanics

விசை - Force
விசைக்கோடுகள் - Lines of force
விசை மாறிலி - Force constant
விசையின் வானியல் அலகு - Astronomical unit of force
விடுநிலைகள் - Degrees of freedom
விடுபடு திசைவேகம் - Escape velocity
விதி - Law
விம்மல் - Beat
விரவல் - Diffusion
விரவல் விதி - Law of diffusion
விரவிய கதிர்வீச்சு - Diffused radiation
விரிவடைமானி - Dilatometer
விரைவு உற்பத்தி அணு உலை - Fast breeder reactor
வில் நிறமாலை- Arc spectrum
விலக்கக் கோணம் - Declination
விலககி ஆய்தல நெறிமுறைகள் - Variational principles
விலக்கு விசைகள் - Forces of repulsion
விலகல் - Refraction
விலகுவகை - Repulsive type
விளிம்பு இடமாற்றம் - Edge dislocation
விளிம்பு வளைவு - Diffraction
விளிம்பு விளைவுக் கீற்றணி - Diffraction grating
விளிம்புவிளைவுக் கீற்றணி நிறமாலை - Diffraction spectrum
விளைவு காந்தத் திருப்புதிறன் - Resultatnt magnetisation
விறைப்புக் குணகம் - Rigidity modulus
வீச்சு - Amplitude
வீச்சு ஆற்றல் - Radiant energy
வீச்சும் கட்டமும் - Amplitude and phase
வீசுகதிா உமிழ்தல் - Induced emission
வெப்ப அயனி வெளியீடு - Thermionic emission
வெப்ப அளவியல் - Calorimetry
வெப்ப இயக்கவியல் மின்னழுத்தம் கிப்ஸ் சார்பங்கள் - Thermodynamic potential Gibbs' functions
வெப்பக் கடத்தல் - Conduction
வெப்பக் கடத்து திறன் - Thermal conductivity
வெப்பக் கதிர்வீச்சு - Thermal radiation
வெப்பச்சலனம் - Convection
வெப்பநிலை அளவியல் - Thermometry
வெப்பநிலை காப்பான் - Thermostat
வெப்பநிலைமாறா நிகழ்வு - Isothermal process
வெப்பமாற்றீடற்ற காந்தநீக்க முறை - Adiabatic demagnetisation
வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வு - Adiabatic process
வெப்பமின் விளைவு - Thermoelectric effect
வெப்ப மின்னிரட்டை - Thermocouple
வெப்ப மின்னிரட்டை அடுக்கு - Thermopile
வெப்பவியலும் வெப்ப இயக்கவியலும் - Heat and thermodynamics
வெப்ப விரிவு - Thermal expansion
வெப்ப வெளியீட்டுத் தகவு - Emissivity
வெளி அணிக்கோவை - Space lattice
வெளி ஆயங்கள் - Space coordinates
வெளி - கால மெட்ரிக் அளவு - Space time metric
வெளி - கால வளைவு - Space time curvature
வெளியீட்டு நிறமாலை - Emission spectrum
வெளியீடு சமன் செய்யாத மின்னழுத்தம் - Output offset - voltage
வெளியீடு மின்மறுப்பு - Output impedance
வெளியேற்று - Drain
வேதியல் முறை ஈரமானி - Chemical hygrometer
வேற்றுப்பொருள் கடத்துகை - Impurity conductivity
வேறுபடு புறப்பரப்பு - Differential surface area
வேறுபாட்டளவையில் பெருக்கி - Differential amplifier
வேறுபாட்டுச் சைகை உள்ளீடு - Difference signal input
வேறுபாடு பெருக்கி - Difference amplifier

கலைச்சொற்கள்
ஆங்கிலம் - தமிழ்

Glossary
English - Tamil

Absolute permitivity - தனி அனுமதிப்பு
Absolute space - முழுமை வெளி
Absolute time - முழுமைக் காலம்
Absorption - உட்கவர்தல்
Absorption coefficient - உட்கவர் கெழு
Absorption lines - உட்கவர் வரிகள்
Absorption spectrum - உட்கவர் நிறமாலை
Acceptor impurities - ஏற்பி வேற்றுப் பொருள்கள்
Acceptor states - ஏற்பு நிலைகள்
Achromatic lenses - நிறப் பிறழ்ச்சி நீங்கிய வில்லைகள்
Acoustic energy - ஒலி ஆற்றல்
Acoustic filters - ஒலி வடிப்பான்கள்
Acoustic grating - ஒலிக்கீற்றணி
Acoustic reciprocity theorem - ஒலி இணைமாற்றத் தேற்றம்
Acoustic reflectivity - எதிரொலிப்பு எண்
Acoustic resonance - ஒலி ஒத்ததிர்வு
Acoustics - ஒலியியல்
Acoustic spectrum - ஒலி நிறமாலை
Action - angle variables - செயல்கோண மாறிகள்
Action variable - செயல் மாறி
Active components - செயலூட்டப் பகுதிகள்
Adhesive force - ஒட்டு விசை
Adiabatic demagnetisation - வெப்பமாற்றீடற்ற காந்தநீக்க முறை
Adiabatic process - வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வு
Alpha particle decay - ஆல்பா துகள் சிதைவு
Alternating current ammeter - மாறுதிசை மின்னோட்ட மானி
Alternating magnetic field - மாறுதிசை காந்தப்புலம்
Alternative energy - மாற்று ஆற்றல்
Altimeter - உயரமானி
ALU - கணக்கீடு தர்க்கப் பகுதி
Ammeter - மின்னோட்டமானி
Amplifier - மிகைப்பி, பெருக்கி
Amplitude - வீச்சு
Amplitude and phase - வீச்சும் கட்டமும்
Analyser - பகுப்பாய்வு கருவி
Angle of contact - தொடு கோணம்
Angle of polarisation - தளவிளைவுக் கோணம்
Angle variable - கோணமாறி
Angular frequency - கோண அதிர்வு எண்
Angular impulse - கோணத் தாக்களவு
Angular momentum - கோண உந்தம்
Angular steps - கோணப் படிகள்
Angular velocity - கோணத் திசைவேகம்
Anisotropic energy - திசை ஒவ்வாப் பண்பியல் ஆற்றல்
Annihilation operator - அழிப்பு இயக்கி
Annihilation radiation - கதிர் வீச்சு அழிவு
Antiferroelectricity - எதிர் பெரோ மின்னியல்
Antimatter - எதிர் பருப்பொருள்
Antiparticle - எதிர்துகள்
Aperture - சிறிய துளை
Aperture aberration - துளைப் பிறழ்ச்சி
Aperture ratio - துளைத் தகவு
Aperture stop - துளை அடைப்பான்
Aplanatic lens - கோட்டமிலா வில்லை
Architectural acoustics - கட்டட ஒலியியல்
Arc spectrum - வில் நிறமாலை
Artificial radio activity - செயற்கைக் கதிரியக்கம்
Astigmatism - ஒரு தளப்பார்வை
Aston's mass spectrograph - ஆஸ்டன் நிறைமாலைமானி
Astronomical unit of force - விசையின் வானியல் அலகு
Asymmetrical - சமச் சீர்மையற்ற
Asynchronous inputs - ஒத்திசையாத உள்ளீடுகள்
Atmospheric pressure - வளி அழுத்தம்
Atomic and nuclear physics - அணு, அணுக்கரு இயல்பியல்
Atomic bomb - அணு குண்டு
Atomic energy - அணு ஆற்றல்
Atomic form factor - அணு அமைப்புக் கூற்றெண்
Atomic models - அணு மாதிரிகள்
Atomic radii - அணு ஆரங்கள்
Atomic spectrum - அணு நிறமாலை
Atomic weight - அணு எடை
Attractive type - ஈர்ப்பு வகை
Audio frequency range - கேள் அதிர்வெண் நெடுக்கம்
Audiometer - கேள்திறமானி
Audiometry - கேள்திறன் அளவியல்
Auto - ionisation - தானே அயனியாக்குதல்
Automatic shutter - தானியங்கித் தடுப்பான்
Avalanche - பெருகு பொழிவு
Axes of coordinates - ஆயக்கோட்டு அச்சுகள்
Axle - அச்சாணி
Bad conductors - அரிதில் கடத்திகள்
Balance - சரியீடு

Balance - சரியீடு
Band spectrum - பட்டை நிறமாலை
Base - அடிவாய்
Base centred unit cell - அடி மைய அலகு செல்
Basement - அடித்தளம்
Basis - அடிப்படை
Battery - மின் கலம்
Beam radiation - கற்றைக் கதிர்வீச்சு
Beat - விம்மல்
Bending couple - வளைவு விசை இரட்டை
Bending moment - வளைவுத் திருப்புதிறன்
Bias - சமனில்லா (பயசு)
Biaxial crystal - ஈரச்சுப் படிகம்
Binaural sound - இரு செவி ஒலி
Binding energy - பிணைப்பு ஆற்றல்
Bio-conversion - உயிரின மாற்றம்
Bio-degradation - உயிரினச் சிதைவு
Bio-energy - உயிரின ஆற்றல்
Biprism - இரட்டைப் பட்டகம்
Birefringence / Double refraction - இரட்டை ஒளிவிலக்கம்
Black body radiation - கரும பொருள் கதிர்வீச்சு
Bladders - சிறுநீர்ப்பைகள்
Body centred unit cell - உருவ மைய அலகு செல்
Break-down diodes - முறிவு டையோடுகள்
Break-down voltage - முறிவு மின்னழுத்தம்
Breeder reactor - ஈனுலை
Bridge - சமனச்சுற்று
Bridge amplifier - இணைப்புப் பெருக்கி
Bubble chamber - குமிழ் கலம்
Bulk modulus - பரும குணகம்
Calorimetry - வெப்ப அளவியல்
Canonical-equation - நியமநிலைச் சமன்பாடு
Canonical momentum - நியமநிலை உந்தம்
Canonical transformation - நியமநிலை மாற்றம்
Canonical variables - நியமநிலை மாறிகள்
Capacitance - மின்தேக்கு திறன்
Capacitor coupling circuit - மின்தேக்கி இணைப்பு ச் சுற்று
Capillarity wave - நுண்புழைத் தன்மை அலை
Capillary action - நுண்புழைச் செயல்
Celestial mechanics - வான் நிலையியக்க வியல்
Central force motion - மைய விசை இயக்கம்
Centre of mass - நிறை மையம்
Centre of pressure - அழுத்த மையம்
Centrifugal force - மையவிலக்கு விசை
Centripetal force - மையநோக்கு விசை
Chain reaction - சங்கிலித் தொடர்வினை
Characteristicfunction - தனிச்சிறப்புச் சார்பம்
Charge carrier - மின்னூட்ட ஊர்தி
Charge conjugate - மின்னூட்ட இணைமாற்றம்
Charge density - மின்னூட்ட அடர்த்தி
Charge distribution - மின்னூட்டப் பகிர்வு
Charge invariance - மின்னூட்ட மாறாமை
Chemical hygrometer - வேதியல் முறை ஈரமானி
Chromatic aberration - நிறப்பிறழ்ச்சி
Chromosphere - நிறமண்டலம்
Clamping circuit - பிடிப்புச்சுற்று
Classical field - பண்டைய புலம்
Classical masses - பண்டைய நிறைகள்
Classical mechanics - பண்டைய எந்திரவியல்
Closed path - முற்றுப் பெற்ற பாதை
Close packed - முற்றுப் பெற்ற கட்டமைப்பு
Cloud chamber - முகிற் கலம்
Coefficients - கெழுக்கள்
Coherence length - ஓரியல் நீளம்
Coherent - ஓரியல்
Cohesive energy - ஒருங்கிணைவு ஆற்றல்
Cohesive force - ஒருங்கிணைவு விசை
Collector - ஏற்பி
Colloids - கூழ்ப்பொருட்கள்
Combination tone - கூட்டோசை
Commuting operators - மாற்றீடு செயலிகள்
Common drain - பொது வடிகால்
Common mode input - பொதுவகை உள்ளீடு
Common mode rejection ratio - பொதுவகை ஒதுக்குத் தகவு
Complex conjugate - கலப்பு இணைமாற்று (எண்)
Compound lens - கூட்டுவில்லை
Compressional wave - நெருக்க அலை
Computer interface - கணினி பரிமாற்று அமைப்பு
Computer science - கணினி அறிவியல்
Condensation - சுருக்கம்
Conduction - வெப்பக் கடத்தல்
Conduction band - மின் கடத்தும் பட்டை
Conduction electron - கடத்தல் எலக்ட்ரான்
Conductor - கடத்தி
Conjugate points - இணைமாற்றுப் புள்ளிகள்
Conservation of momentum - உந்த

Consonance - ஒத்திசைவு
Constant - மாறிலி
Constants of motion - இயக்க மாறிலிகள்
Constraint - வரையறை
Constructive interference - ஆக்கச் சார்பான குறுக்கீட்டு விளைவு
Continuous line - தொடர்வரி
Continuous transformation - தொடர் நிலைமாற்றம்
Control circuit - ஆளுகைச் சுற்று
Convection - வெப்பச்சலனம்
Converter - நிலைமாற்றி
Convex lens - குவிவில்லை
Coolant - குளிர்ப்பான்
Co-operative phenomena - கூட்டுறவு நிகழ்வுகள்
Co-ordinate representation - ஆயக்குறியீடு
Co-ordinate transformations - ஆயமாற்றங்கள்
Co-ordination number - அணைப்பு எண்
Core - உள்ளகம்
Corpuscular theory of light - ஒளியின் நுண்ணிமக்கொள்கை
Counter controlled cloud chamber - எண்ணிக் கண்காணிக்கும் முகிற்கலம்
Couple - இரட்டை
Coupler - இணைப்பி
Covalent bond - சகப்பிணைப்பு
Covalent crystal - சகப்பிணைப்புப் படிகம்
Creation operator - படைப்பு இயக்கி
Critical constant - நிலைமாறு மாறிலி
Critical exponents - நிலைமாறு மடிகள்
Critical phenomena - நிலைமாறு நிகழ்வுகள்
Critical point - நிலைமாறு புள்ளி
Critical pressure - நிலைமாறு அழுத்தம்
Critical temperature - நிலைமாறு வெப்பநிலை
Critical velocity - நிலைமாறு திசைவேகம்
Critical volume - நிலைமாறு பருமன்
Crystal binding - படிகப் பிணைப்பு
Crystal grating - படிகக் கீற்றணி
Crystal potential - படிக மின்னழுத்தம்
Crystal structure - படிகக் கட்டமைப்பு
Curvature of field - புல வளைவு
Cycle - சுற்று
Cyclic coordinates - வட்ட ஆயங்கள்
Decay constant - சிதைவு மாறிலி
Declination - விலக்கக் கோணம்
Degrees of freedom - விடுநிலைகள்
Deformation - உருக்குலைவு
Dehydration - நீர்ம நீக்கம்
Delay line - சுணக்க வரி
Density - அடர்த்தி
Density of distribution - பங்கீட்டு அடர்த்தி
Density state function - அடர்த்தி நிலைச் சார்பம்
Depletion layer - வறட்சி அடுக்கு
Depletion region - வறட்சிப்பகுதி
Dichroism - இருநிறம் காட்டும் பண்பு
Dielectric - மின்கடத்தாப்பொருள்
Dielectricbreakdown - மின்கடத்தாப் பொருளின் சரிவுநிலை
Dielectric constant - மின்கடத்தாப் பொருள் மாறிலி
Differential amplifier - வேறுபாட்டளவை பெருக்கி
Difference signal input - வேறுபாட்டுச்சைகை உள்ளீடு
Differential - வகையீட்டுக்குறி
Difference amplifier - வேறுபாடு பெருக்கி
Differential luminous intensity - வகையீட்டு ஒளிவிளக்கச் செறிவு
Differential surface area - வேறுபடு புறப்பரப்பு
Diffraction - விளிம்பு வளைவு
Diffraction grating - விளிம்பு வளைவுக் கீற்றணி
Diffraction spectrum - விளிம்பு வளைவுக் கீற்றணி நிறமாலை
Diffused radiation - விரவிய கதிர்வீச்சு
Diffusion - விரவல்
Digital computer - இலக்கவகைக் கணினி
Digital signal - இலக்கவகைச் சைகை
Dilatometer - விரிவடைமானி
Dimensions - பரிமாணங்கள்
Dipole layer - இருமுனை அடுக்கு
Dipole moment - இருமுனை திருப்புதிறன்
Direct current ammeter - நேர்திசை மின்னோட்டமானி
Directcurrentvoltage - நேர் திசை மின்னழுத்தம்
Direct current voltmeter - நேர்திசை மின்னழுத்தமானி
Direct impact - நேரடி மோதல்
Directionality - திசைப் பண்பு
Discrete - தனித்தனி
Disintegration - சிதைவு
Dislocations - இடமாற்றங்கள்
Disorder - சீர்குலைவு
Distortion - திரிபு

Distribution - பங்கீடு / பரவல்
Distribution function - பரவல் சார்பம்
Domain structure - பெருங்கூறு அமைப்பு
Domain theory - பெருங்கூறுக் கொள்கை
Donor impurities - கொடை வேற்றுப் பொருள்கள்
Donor states - வழங்கு நிலைகள்
Doping - ஊட்டப்படுத்தல்
Drain - வெளியேற்று
Drift velocity - நகர்வுத் திசைவேகம்
Dual nature - இரட்டைப் பண்பு
Dual slope converter - இரட்டைச் சாய்வு மாற்றி
Dye - சாயம்
Earth's magnetic field - புவியின் காந்தப்புலம்
Echometer - எதிரொலிமானி
Edge dislocation - விளிம்பு இடமாற்றம்
Effective mass - செயற்படு பொருண்மை
Effective value - செயற்படு மதிப்பு
Effluent - கழிவு
Effusion - பொழிவு
Elastic fatigue - மீட்சியியல் சோர்வு
Elastic hysteresis - மீட்சியியல் பின்னடைவு
Elasticity - மீட்சியியல்
Elastic waves - மீட்சியியல் அலைகள்
Electrical conductivity - மின் கடத்து திறன்
Electric current - மின்னோட்டம்
Electirc dipole - மின் இருமுனை
Electric displacement - மின் இடப்பெயர்ச்சி
Electric generator - மின்னாக்கி
Electric images - மின் பிம்பங்கள்
Electricity - மின்னியல்
Electric lines of force - மின் விசைக்கோடுகள்
Electric polanzation - மின் முனைவாக்கம்
Electric potential - மின்னழுத்தம்
Electirc quadrupole moment - நான்கு மின்முனைத் திருப்புதிறன்
Electric space constant - மின் வெளி மாறிலி
Electric spark - மின்பொறி
Electric susceptibility - மின் ஏற்பு திறன்
Electrode tubes - மின்தண்டுக் குழாய்கள்
Electrolytes - மினபகு பொருட்கள்
Electromagnet - மின் காந்தம்
Electromagnetic force - மின் காந்த விசை
Electromagnetic interaction - மின்காந்த இடைவினை
Electromagnetic spectrum - மின் காந்த நிறமாலை
Electrometer - மின்மானி
Electromotive force - மின்னியங்கு விசை
Electron capture - எலக்ட்ரான் கைப்பற்றல்
Electronic polarization - எலக்ட்ரானிய முனைவாக்கம்
Electronics - எலக்ட்ரானியல்
Electronic spectrum - எலக்ட்ரானிய நிறமாலை
Electron spin resonance spectroscopy - எலக்ட்ரான் தற்சுழற்சி ஒத்ததிர்வு நிறமாலையியல்
Electropositive - மின்நேர்
Electrostatic field - மின் நிலைப் புலம்
Elementary particles - அடிப்படைத் துகள்கள்
Elevation - முகப்பு
Elliptical orbit - நீள்வட்டப் பாதை
Elliptical polarisation - நீள்வட்டத் தளவிளைவு(முனைவாக்கம்)
Emission spectrum - வெளியீட்டு நிறமாலை
Emissivity - வெப்ப வெளியீட்டுத் தகவு
Emitter - உமிழி
Empirical law - அனுமான விதி
Emulsion - கலவைப் பூச்சு
Emulsion stack - கூழ்ப் படல அடுக்கு
Endoenergic reaction - ஆற்றல் வெளியிடு விளைவுவினை
Energy bands - ஆற்றல் பட்டைகள்
Energy band diagram - ஆற்றல் பட்டை வரைபடம்
Energy content - ஆற்றல் இருப்பு
Energy level - ஆற்றல் மட்டம்
Energy - momentum relation - ஆற்றல்-உந்தம் தொடர்பு
Energy physics - ஆற்றல் இயல்பியல்
Energy range - ஆற்றல் நெடுகை
Energy storage - ஆற்றல் சேமிப்பு
Ensemble - கூட்டமைப்பு
Epitaxial growth - மேலாடை வளர்ப்பு
Equation - சமன்பாடு
Equilibrium - சமனிக்கோடு
Equipartition of energy - ஆற்றல் சமபங்கீடு
Equipotential surface - சம அழுத்தப் பரப்பு
Escape velocity - விடுபடு திசைவேகம்
Exchange - பரிமாற்றம்
Exchange energy - பரிமாற்று ஆற்றல்
Exchange particles - பரிமாற்றத் துகள்கள்
Excitation energy - கிளர்ச்சி ஆற்றல்
Excited states - கிளர்வு நிலைகள்
Exclusion principle - தவிர்க்கைத் தத்துவம்
Expectation value - எதிர்பார்ப்பு மதிப்பு

External bending moment - புற வளைவுத் திறன்
External couple - புற விசை இரட்டை
External field of force - புறப் புல விசை
Extraordinary ray - இயல்பற்ற கதிர்
Extrinsic conductivity - புறத்திரிநிலைக் கடத்துகை
Face centred cubic - முகமைய கனசதுரம்
Face centred unit cell - முகமைய அலகு செல்
Fast breeder reactor - விரைவு உற்பத்தி அணு உலை
Ferrimagnetism - பெரி காந்தம்
Ferromagnetism - பெரோ காந்தம்
Field-effect transistor - மின்புல விளைவு டிரான்சிஸ்டர்
Field particle - புலத்துகள்
Field theory - புலக் கோட்பாடு
Fine structure - நுண்வரி அமைப்பு
Fine structure doublets - நுண்வரி இரட்டைகள்
Fixed points - நிலைப்புள்ளிகள்
Flexural waves - நெகிழ்ச்சி அலைகள்
Flip-flop - நிலைமாறி
Fluorescence - ஒளிர்வு
Flourescence and phosphorescence - ஒளிர்தலும் நின்றொளிர்தலும்
Force - விசை
Force constant - விசை மாறிலி
Forced convection - திணிப்பு வெப்பச்சலனம்
Forces of repulsion - விலக்கு விசைகள்
Forward bias - முன்னோக்குச் சார்பு
Forward voltage - முன்னோக்கு மின்னழுத்தம்
Four-dimensional space- time continuum - நாற்பரிமாண வெளி-காலத் தொடர்பம்
Free energy - தனி ஆற்றல்
Free surface - தனிப் பரப்பு
Frequency - அதிர்வெண்
Frost - உறைபனிப் பொதிவு
Fuel electric cell - எரிபொருள் மின்கலம்
Function - சார்பம்
Fundamental interactions - அடிப்படை இடைவினைகள்
Fundamental note - அடிப்படைச் சுரம்
Fusion - உருகுதல்
Galaxy - கோள்மண்டலம்
Gamma ray detector - காமா கதிர் கண்டுணர்வி
Gas - வாயு
Gas thermometers - வாயு வெப்ப நிலைமானிகள்
Generalised co-ordinates - பொதுமை ஆயக்கூறுகள்
Generating function - ஆக்கச் சார்பம்
Generator - மின்னியற்றி
Glass - கண்ணாடி
Good Conductor - நல்ல கடத்தி
Gradient relation - சரிவுத் தொடர்பு
Grand canonical distribution - மீப்பண்பொத்த பங்கீடு
Grand canonical ensemble - மீப்பண்பொத்த கூட்டமைப்பு
Gravitational field - புவிஈர்ப்புப் புலம்
Gravitational force - புவிஈர்ப்பு விசை
Gravitational interaction - புவிஈர்ப்பு இடைவினை
Gravitational mass - புவிஈர்ப்பு நிறை
Grease - மசகுக் கொழுப்பு
Ground state energy - தரை நிலை ஆற்றல்
Group velocity - குழுத் திசைவேகம்
Gunn effect - கன் விளைவு
Gyrostat - சுழற்சி நிலைப்பி
Harmonics - கிளைச் சுரங்கள்
Harmony - ஒருங்கிசை
Harmonic / Anharmonic oscillator - இசை/இசையிலி அலையியற்றி
Heat and Thermodynamics - வெப்பவியலும் வெப்ப இயக்கவியலும்
Heavy water - கனநீர்
High resolution spectrum - உயர்படி ஒளிவரிகள்
Holonomic constraint - அடைவுறு வரையறை
Horse power - குதிரை ஆற்றல்
Hydro-electricty - நீர் மின்சாரம்
Hydrometry - ஈர அளவியல்
Hydrostatic pressure - பாய்ம நிலை அழுத்தம்
Hyperfine structure - மீ நுண் வரி அமைப்பு
Hyperfine splitting - மீ நுண் வரிபிரிப்பு
Hypersonics - மீ உயர்வு ஒலியியல்
Hyper - volume - அதிபருமன்
Hysteresis - காந்தத் தயக்கம்
Hysteresis loop - தயக்கக் கண்ணி
Ideal gas - குறிக்கோள் வாயு
Identical particles - ஒத்த துகள்கள்
Identity - தனித்தன்மை
Impact - மோதல்
Imapact - coefficient of restitution - மோதல் - நிலைமீட்சிக் குணகம்
Impact parameter - மோதல் அளபுறு
Impedance matching - மின் மறுப்புப் பொருத்தம்

Imperfect gas - குறையுடைவளி
Imperfections - குறைபாடுகள்
Impurity conductivity - வேற்றுப்பொருள் கடத்துகை
Indicator diagram - சுட்டுப் படம்
Indices - குறியீட்டு எண்கள்
Induced electric field - தூண்டப்பட்ட மின்புலம்
Induced EMF - தூண்டல் மின்னியக்க விசை
Induced emission - வீசுகதிர் உமிழ்வு
Inductance - மின்மறுப்பு
Induction - தூண்டல்
Induction furnaces - மின் தூண்டல் உலைகள்
Inelastic scattering - மீட்சியிலாச் சிதறல்
Inertial frame - நிலைம தளம்
Inertial mass - நிலைம நிறை
Inertial reference frame - நிலைம ஒப்பிடு தளம்
Infinite - ஈறிலி
Infinitesimal canonical transformation - மீநுண் நியம நிலைமாற்றம்
Infinitesimal contact transformation - நுண்ணுறு தொடர்புமாற்றம்
Infinitesimals - கழி நுண்ணணிகள்
Input impedance - உள்ளீடு மின்மறுப்பு
Input offset voltage - உள்ளீடு சமன் செய்யாத மின்னழுத்தம்
Inputs - உள்ளீடுகள்
Insulators - கடத்தாப் பொருட்கள்
Intensity - செறிவு
Integral - தொகையீடு
Integral multiples - முழு எண் மடங்குகள்
Integrated circuits - தொகுப்புச் சுற்றுகள்
Interaction - இடைவினை
Interface - இடை முகப்புத்தளம்
Interfacial force - பரப்புகளிடை விசை
Interfacial tension - பரப்பு இழுதிறன்
Interference - குறுக்கீட்டு விளைவு
Interference of light - ஒளியின் குறுக்கீட்டு விளைவு
Interferometer - குறுக்கீட்டு விளைவுமானி
Internal bending moment - அக வளைவுத் திருப்புதிறன்
Internal combustion engine - உள்ளெரி எந்திரம்
Internal energy - உள்ளிட ஆற்றல்
Internal pressure - உள்ளிட அழுத்தம்
Intrinsic semi conductor - உள்ளார்ந்த குறைகடத்தி
Intrinsic angular momentum - உள்ளார்ந்த கோண உந்தம்
Interstitials - இடை அமர்வுகள்
Invariance - மாறுதலின்மை
Inversion - எதிர்மாறாக்கல்
Inverse square law - இருபடி எதிர்தகவு விதி
Ionisation chamber - அயனியாக்கு கலம்
Ionic crystal - அயனிப் படிகம்
Ionic radii - அயனி ஆரங்கள்
Isomorphism - சம உருவக் கட்டமைப்பு
Isothermal - சமவெப்பநிலை
Isothermal process - வெப்பநிலைமாறா நிகழ்வு
Isotope shift - ஐசோடோப்பு பெயர்ச்சி
Isotropic medium - திசையொத்த பண்புள்ள ஊடகம்
Isotropy of space - சமச்சீர் வெளி
Kinetic theory of molecules - மூலக்கூறுகளின் இயக்கக்கோட்பாடு
Latent heat - உள்ளுறை வெப்பம்
Latent heat equation - உள்ளுறை வெப்பச் சமன்பாடு
Lateral strain - திரிபு (நீளக் குறைவு)
Lattice constant - அணிக்கோவை மாறிலி
Lattice heat capacity - அணிக்கோவை வெப்ப ஏற்புதிறன்
Lattice parameter - அணிக்கோவை அளபுறு
Lattice planes - அணிக்கோவைத் தளங்கள்
Lattice point - அணிக்கோவைப் புள்ளி
Lattice spacings - அணிக்கோவை இடைவெளிகள்
Lattice types - அணிக்கோவை வகைகள்
Law - விதி
Law of gravitation - ஈர்ப்பு விதி
Law of reversibility - நேர் - எதிர் மாற்றப் பண்பு விதி
Laws of diffusion - விரவல் விதிகள்
Laws of friction உராய்வு விதிகள்
Laws of osmotic pressure - சவ்வூடு பரவல் அழுத்த விதிகள்
Laws of refraction - ஒளி விலகல் விதிகள்
LDRS - ஒளி சார்ந்த மின்தடைகள்
LEDS - ஒளி உமிழும் டையோடுகள்
Life time - வாழ் நேரம்
Light meter - ஒளிமானி
Light pulse - ஒளித் துடிப்பு
Lignite - பழுப்பு நிலக்கரி
Linear - நேர்போக்கு (நீட்டியல்)
Linear accelerator - நேர்போக்கு முடுக்கி
Linear functions - நேர் கோட்டுச் சார்பங்கள்

Linear harmonic oscillator - நேர்கோட்டுச் சீரிசை அலைவி
Linearly polarised light - நேரியல் தளவிளைவுற்ற ஒளி
Line intergral - கோட்டுத் தொகையீடு
Line of characterstic radiation - தற்சிறப்புக் கதிர்வீச்சு வரி
Line segments - வரிக் கூறுகள்
Lines of force - விசைக்கோடுகள்
Line spectrum - வரி மாலை
Line width - வரி அகலம்
Liquid diffusion - நீர்ம விரவல்
Liquid drop model - திரவத்துளி மாதிரி
Liquid thermometers - திரவவெப்ப நிலைமானிகள்
Low resistance - குறைவான மின்தடை
Lubricant - உயவு எண்ணெய்
Mechanical distortion - எந்திரவியல் குலைவு
Machine - எந்திரம்
Magic number - மாய எண்
Magnetisation - காந்தமாக்கல்
Magnetic amplifier - காந்தப் பெருக்கி
Magnetic dipole - காந்த இருமுனை
Magnetic domain - காந்த செறிவுப் பெருங்கூறு
Magnetic field - காந்தப்புலம்
Magnetic lines of force - காந்தவிசைக் கோடுகள்
Magnetic materials - காந்தப் பொருட்கள்
Magnetic moment - காந்தத் திருப்புதிறன்
Magnetic potential - காந்த அழுத்தம்
Magnetic susceptibility - காந்த ஏற்புதிறன்
Magneto-hydrodynamics - காந்தப் பாய்ம இயக்கவியல்
Magneto-striction method - காந்தப் பரிமாண மாற்று முறை
Mass defect - நிறை வழு
Mass energy equivalence - நிறை - ஆற்றல் சமநிலை
Mass formula - நிறைக் கோவை
Mass spectrometer - நிறைமாலை மானி
Mass variation formula - நிறை மாறுபடு சமன்பாடு
Matrix - அணி
Mean free path - சராசரி மோதலிடைத்தூரம்
Melody - ஒழுங்கிசை
Membrane - சவ்வு
Memory unit - நினைவுப் பகுதி
Meniscus - பிறைத்தளம்

Meta Centre - மிதவைக் காப்பு மையம்
Meta centric height - மிதவைக் காப்பு உயரம்
Metallic crystals - உலோகப் படிகங்கள்
Metals - உலோகங்கள்
Meteorology - நிகழ்வியக்கவியல்
Microphone - ஒலி வாங்கி
Microscope - நுண்ணோக்கி
Microscopic theory - நுண்ணியல் கொள்கை
Microwave acoustics - நுண்ணலை ஒலியியல்
Microwave spectrum - நுண்ணலை நிறமாலை
Mirage - கானல் நீர்
Mismatch - சரியிலாப் பொருத்தம்
Mobility - நகர்திறன்
Model - மாதிரி
Moderator - தணிப்பான்
Modulation - பண்பேற்றம்
Modulus of elasticity - மீட்சிக் கெழு
Molecular depression freezing point - மூலக் கூறுகளைச் சார்ந்த உறைநிலை வீழ்ச்சி
Molecular elevation of the boiling point - மூலக் கூறுகளைச் சார்ந்த கொதிநிலை உயர்வு
Molecular forces - மூலக்கூறு விசைகள்
Molecular volume - மூலக்கூறு பருமன்
Moment of Inertia - நிலைமத் திருப்புதிறன்
Momentum - உந்தம்
Monoatomic lattice - ஒற்றையணு அணிக் கோவை
Monolithic - ஒருகல்லில் ஆன
Multiple beam fringes - பலகற்றை வரிகள்
Multivibrator - பல்லதிர்வி
Musical acoustics - இசை ஒலியியல்
Mutual induction - பரிமாற்று மின்தூண்டல்
Natural convection - இயல்பு வெப்பச்சலனம்
Natural gas - இயற்கை வாயு
Negative resistance - எதிர் மின்தடை
Negative temperature - எதிர்மறை வெப்பநிலை
Noise - இரைச்சல்
Non - degenerate - மட்டம் பிரிக்கவொண்ணா
Non-holonomic constraint - அடைவுறா வரையறை
Non-linear - நீட்டியலற்ற
Non-Inertial reference frame - நிலைமமற்ற ஒப்பிடுதளம்
Normal component - செங்குத்துக் கூறு
Normal co-ordinates - இயல்பு ஆயங்கள்
Normal modes - இயல்பு இயக்கங்கள்
Normal process - இயல்பு நிகழ்வுமுறை
Note - சுரம்

Nuclear electric quadrupole effect - அணுக்கரு மின்னியல் நான்முனைவிளைவு
Nuclear energy - அணுக்கரு ஆற்றல்
Nuclear fission - அணுக்கருப் பிளவு
Nuclear forces - அணுக்கரு விசைகள்
Nuclear fusion - அணுக்கருப் பிணைவு
Nuclear magnet - அணுக்கருக் காந்தம்
Nuclear magnetic resonance - அணுக்கருக் காந்த ஒத்ததிர்வு
Nuclear models - அணுக்கரு மாதிரிகள்
Nuclear para magnetic resonance - அணுக்கரு பரா காந்த ஒத்ததிர்வு
Nuclear park - அணுக்கருவியல் பூங்கா
Nuclear quadrupole resonance - அணுக்கரு நான்முனை ஒத்ததிர்வு
Nuclear radiation - அணுக்கதிர் வீச்சு
Nuclear reaction - அணுக்கரு வினை
Nuclear reactor - அணுக்கரு உலை
Nuclear spectra - அணுக்கரு மாலைகள்
Nuclear spin - அணுக்கருத் தற்சுழற்சி
Nucleus - அணுக்கரு
Oblique impact - சாய்ந்த மோதல்
Octave - எண்மம்
Off-set voltage - சமன் செய்யா மின்னழுத்தம்
Optical aberration - ஒளிப்பிறழ்ச்சி
Optical absorption bands - உட்கவர் பட்டைகள்
Optical analogy - ஒளியியல் ஒப்புமை
Optical axis - படிகத்தின் ஒளியச்சு
Optical path - ஒளியியல் பாதை
Optics - ஒளியியல்
Optimum - அளவு
Orbit - சுற்றுப்பாதை
Orbital angular momentum - எதிர் சுழற்சிக் கோண உந்தம்
Orbital electron capture - சுற்றுபபாதை எலக்ட்ரான் கைப்பற்றல்
Orbital quantum number - சுற்றுப்பாதை கவள எண்
Orbital velocity - சுற்றுப்பாதைத் திசைவேகம்
Ordinary ray - இயல்பான கதிர்
Orientation - உகப்பு நிலை
Orientational polarisation - திசை முகமாக்கு முனைவாக்கம்
Origin - தொடங்குநிலை
Oscillation - அலையியக்கம
Oscillograph - அலை வரைவி
Osmosis - சவ்வூடு பரவல்
Osmotic pressure - சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம்
Output impedance - வெளியீடு மின்மறுப்பு
Output offset- voltage - வெளியீடு சமன் செய்யாத மின்னழுத்தம்
Overtones - மேற்சுரங்கள்
Packing fraction - பொதிவு பின்னம்
Pairing energy term - இணையாக்கல் ஆற்றல் தொடர்
Parallel beam - இணைக் கற்றை
Parallel plate condenser - இணைத்தட்டு மின் தேக்கி
Parameter - அளபுறு
Parent line - முதன்மைவரி
Parity - ஒப்புமை
Particle accelerator - துகள் முடுக்கி
Particle detectors - துகள் கண்டுணர்விகள்
Particles - துகள்கள்
Partition functions - பிரிசார்பங்கள்
Passive components - உயிர்ப்பற்ற கூறுகள்
Path difference - பாதை வேறுபாடு
Peak point voltage - உச்சப்புள்ளி மின்னழுத்தம்
Pear shaped - பேரி வடிவம்
Perfect crystal - சீர்மப் படிகம்
Periodic alterations - அலைவுறு மாற்றங்கள்
Periodicity - இடையொழுங்கு (காலவொழுங்கு)
Periodic motion - கால மடிப்பு இயக்கம்
Periodic table - தனிம அட்டவணை
Permea meters - உட்புகுதிறன் மானிகள்
Permitivity - அனுமதிப்பு
Persistent current - இடைவிடா மின்னோட்டம்
Perturbation - உலைவு
Phase angle - கட்டக் கோணம்
Phase integral - கட்டத் தொகுப்பு
Phase shift - கட்டப் பெயர்ச்சி
Phase shift network - கட்டப் பெயர்ச்சி மின்சுற்று
Phase shift oscillator - கட்டப் பெயர்ச்சி அலையியற்றி
Phase space - கட்ட வெளி
Phase velocity - கட்டத் திசைவேகம்
Phonon - ஒலியன்
Phosphor - நின்றொளிர்
Photocathode - ஒளி மின் எதிர்வாயில்
Photocell - ஒளி மின்கலம்
Photoconductivity - ஒளிசார் மின்கடத்தல்
Photoelectric effect - ஒளி மின் விளைவு
Photoelectron - ஒளியின் எலக்ட்ரான்
Photometric brightness - ஒளி அளவியல் பொலிவு

Photomultiplier - ஒளி மின் பெருக்கி
Photon - ஒளித் துகள்
Photosensitive - ஒளி உணர்ச்சியுள்ள
Photovoltaic effect - ஒளி - மின்னழுத்த விளைவு
Physically observable quantity - இயற்பியல் கட்புலன் அளவுப்பண்பு
Pitch - சுருதி
Planetary motion - கோளியக்கம்
Point group - புள்ளிக் குழு
Poisson bracket - பாய்சான் அடைப்பு
Polarisation - தளவிளைவு (முனைவாக்கம்)
Polarisation Catastrophe - முனைவாக்கப் பேரழிவு
Polarising microscope - முனைவாக்க நுண்ணோக்கி
Polarising sheet - தளவிளைவாக்குத் தகடு
Polycrystal - கூட்டுப்படிகம்
Population inversion - தொகைத் தலைகீழாக்கம்
Postulates of special theory of relativity - சிறப்புச் சார்பியல் கொள்கையின் எடுகோள்கள்
Potential difference - மின்னழுத்த வேறுபாடு
Potential energy - நிலையாற்றல்
Potentiometer - மின்னழுத்தமானி
Precession - அகப்புறச் சுழற்சி
Primary - முதன்மை
Primary waves - முதன்மை அலைகள்
Primitive - மூலம்
Primitive unit cell - மூல அலகு செல்
Principle - தத்துவம்
Principle of equivalence - சமநிலைக்கொள்கை
Principle of indeterminacy - ஐயப்பாட்டுக் கொள்கை
Principle of least action - மீச்சிறு செயலளவுத் தொகைக்கோட்பாடு
Principle of reversal - திருப்புதத்துவம்
Principle of superposition - மேற்பொருத்தல் தத்துவம்
Problems - கணக்கீடுகள்
Projected area - எறிதளம்
Projectile - எறிதுகள்
Proof resillience - மெய்ப்பிப்பு மீள்தன்மை
Proper frame - தக்க தளம்
Proper length - தக்க நீளம்
Properties of matter - பொருட் பண்பியல்புகள்
Proper time interval - தகுந்த நேர இடைவெளி
Primitive unit cell - மூல அலகு செல்
Pure tone - தனிச் சுரம்
Quadrupole moment - நான்முனைவு பாயம்
Quake protect building - நில அதிர்வு தாக்காத கட்டம்
Quality of sound - ஒலியின் பண்பு
Quality of timbre - சுரப்பண்பு
Quantum mechanics - கவள (குவாண்டம்) எந்திரவியல்
Quantum theory of radiation - கதிர் வீச்சுக்கான குவாண்டம் கொள்கை
Quasi-stable - குறை நிலைத் தன்மையுடைய
Radial wave equation - ஆர அலைச் சமன்பாடு
Radial wave functions - ஆர அலைச் சார்பங்கள்
Radiant energy - வீச்சு ஆற்றல்
Radiation - கதிர் வீச்சு
Radioactivity - கதிரியக்கம்
Radio carbon dating - கதிரியக்கக் கார்பன் கொண்டு ஆயுள் மதிப்பிடல்
Radius of gyration - சுழற்சி ஆரம்
Range - நெடுகை
Range of transition - பெயர்வு நெடுகை
Rare-earth ion - அருமண் அயனி
Rate of effusion - பொழிவு வீதம்
Ratio - தகவு
Ration - தகவி
Ray oscilloscope - கதிர் அலைவுமானி
Rays - கதிர்கள்
Real gas - உண்மை வாயு
Reciprocal lattice - தலைகீழ் அணிக்கோவை
Reciprocal lattice vectors - தலைகீழ் (எதிரிடை) அணிக்கோவைத் திசையிகள்
Re-combination - மீள் இணைவு
Recurrence formula - மறுதரவு சமன்பாடு
Reduced mass - சுருக்க நிறை
Reflection - எதிரொளிப்பு
Refraction - விலகல்
Refractive index - ஒளி விலகல் எண்
Refrigeration - குளிர்பதனம்
Regelation - மறு உறைதல்
Relative force - சார்பு விசை
Relative humidity - சார்பு ஈரப்பதம்
Relative permeability - சார்பு உட்புகுதிறன்
Relative permitivity - சார்பு அனுமதிப்பு
Relativity of simultaneity - உடனிகழ்வு பற்றிய சார்பியல்
Relaxation oscillator - தளர்வுறு அலையியற்றி
Relaxation process - தளர்வு நிகழ்வு
Relaxation time - தளர்வு காலம்
Renewable energy - புதுப்பிக்கப்படும் ஆற்றல்

Renormalization group theory - மறு இயல்பாக்கக் குழுக்கொள்கை
Representative unit - உருமாதிரி அலகு
Repulsive type - விலகுவகை
Residual magnetisation - தேங்கு காந்தநிலை
Resilience - மீள் தன்மை
Resistance - மின் தடை
Resistance thermometer - மின்தடை வெப்பநிலை மானி
Resistivity - மின்தடை எண் (தடைத்திறன்)
Resonance - ஒத்ததிர்வு
Resonance frequency - ஒத்ததிர்வு எண்
Resonant microwave cavity - நுண்ணலை ஒத்ததிர்வுப் பொந்து
Resonator - ஒத்ததிர்வி
Restmass and restenergy - ஓய்வுப்பொருண்மை மற்றும் ஓய்வுஆற்றல்
Restoring couple - மீட்பு இரட்டை
Resultatnt magnetisation - விளைவு காந்தத் திருப்புதிறன்
Reverberation - எதிர் முழக்கம்
Reverse bias - பின்னோக்குச் சார்பு
Reverse current - எதிர்திசை மின்னோட்டம்
Reverse voltage - எதிர்திசை மின்னழுத்தம்
Rhythm - இசைவு
Rigid body motion - கட்டுறுதிப் பொருள் இயக்கம்
Rigid rotator - கட்டுறுதிச் சுழலி
Rigidity modulus - விறைப்புக் குணகம்
Ripples - குற்றலைகள்
Rise time - உயரும் நேரம்
Rod - தண்டு
Rotation - சுழற்சி
Rotation axis - சுழற்சி அச்சு
Rotational spectrum - சுழலியக்க நிறமாலை
Rotational symmetry - சுழல் சமச்சீர்மை
Sagittal section - கம்புரு பகுதி
Sample - and - hold circuit - மாதிரி நிலைச் சுற்று
Saturated vapour - தெவிட்டிய (நிறைச் செறிவு) ஆவி
Saturation magnetisation - காந்தமாக்கலின் நிறைச்செறிவு
Saw tooth voltage pulses - இரம்பப்பல் மின்னழுத்தத் துடிப்புகள்
Scanning - வரிக் கண்ணோட்டம்
Scattering amplitude - சிதறல் வீச்சு
Scattering factor - சிதறல் காரணி
Scattering length - சிதறல் நீளம்
Scintillation - மினிர்தல்
Scintillation counter - மினிர்தல் எண்ணி
Screw axes - திருகு அச்சுக்கள்
Second sound - இரண்டாம் ஒலி
Secondary - இரண்டாம் நிலை
Secondary ions - இரண்டாம் நிலை அயனிகள்
Seismic waves - புவியதிர் அலைகள்
Seismograph - நிலநடுக்க வரைவி
Seismography - நிலநடுக்க வரைவியல்
Selection rules - தெரிவு விதிகள்
Selective absorption - தேர்ந்த உட்கவர்தல்
Selective transmission - தேர்ந்து செலுத்துகை
Self induction - தன்மின்தூண்டல்
Semiconductors - குறை கடத்திகள்
Sequential logic circuit - தொடர் தர்க்கச் சுற்று
Shape - உருவ அமைப்பு
Shear waves - சறுக்கு அலைகள்
Shell model - கூடு மாதிரி
Shock waves - அதிர்ச்சி அலைகள்
Short- range force - குறு நெடுகை விசைகள்
Silencer - இரைச்சல் குறைப்பான்
Simple cubic - எளிய கனசதுரம்
Simple harmonic oscillation - தனிச்சீர் அலைவு
Simple pendulum - தனி ஊசல்
Simultaneous Eigen functions - உடனிகழ்வு அய்கன் சார்பங்கள்
Simultaneity - உடனிகழ்வு
Simultaneously - ஒரே சமயத்தில்
Single crystal - தனிப் படிகம்
Single phase - ஒரு முனை
Skin effect - புறப்பரப்பு விளைவு
Small oscillations - சிறு அலைவியக்கங்கள்
Solar absorber - சூரிய ஒளியேற்பி
Solar cell - சூரிய மின் கலம்
Solar constant - சூரிய மாறிலி
Solar energy - சூரிய ஆற்றல்
Solar furnace - சூரிய உலை
Solar panels - சூரியத் தட்டிகள்
Solar pond - சூரிய ஆற்றல் குளம்
Solar spectrum - சூரிய நிறமாலை
Solar system - சூரிய மண்டலம்
Solenoid - உருளைச் சுருள்
Solid - திண்மம்
Solid state physics - திண்ம நிலை இயல்பியல்
Solute - கரைபொருள்
Solvent - கரைதிரவம்
Sonic boom - ஒலிமுழக்கம்
Sound spectrum - ஒலி அதிர்வெண் மாலை

Source follower - மூலம் பின்பற்றி
Source of power - திறன் மூலம்
Space charge - சூழ்மின்னூட்டம்
Space coordinates - வெளி ஆயங்கள்
Space lattice - வெளி அணிக்கோவை
Space-time curvature - வெளி - கால வளைவு
Space-time metric - வெளி - கால மெட்ரிக் அளவு
Spark chamber - மின்பொறிக் கலன்
Spark specrtra - பொறி நிறமாலை
Speakers - ஒலிப்பான்கள்
Specific heat - தன் வெப்ப எண்
Specific resistance - தன்மின்தடை
Spectral lines - நிறமாலை வரிகள்
Sphere of influence - பாதிப்புக் கோளம்
Spherical aberration - கோளகப் பிறழ்ச்சி
Spherical shells - கோளவடிவக் கூடுகள்
Spherically symmetric - சமச்சீர் கோளம்
Spin - தற்சுழற்சி
Spin lattice relaxation - தற்சுழற்சி அணிக்கோவைத் தளர்வு
Spinning electron - சுழலும் எலக்ட்ரான்
Spin orbit coupling - தற்சுழற்சி சுற்றுப்பாதைப் பிணைப்பு
Spin quantum number - தற்சுழற்சி கவள எண்
spin - Spin relaxation தற்சுழற்சி - தற்சுழற்சி தளர்வு
Spin state - தற்சுழற்சி மட்டம்
Spin wave resonance - தற்சுழற்சி அலை ஒத்ததிர்வு
Spontaneous fission - தன்னிச்சை பிளவு
Spontaneous polarisation - தன்னிகழ்வு முனைவாக்கம்
Standing wave parttern beam - நிலை அலை ஒளிக் கற்றை
Statistics - புள்ளியியல்
Stepper motor - படி சுழற்றி
Stereoscope - திட்பக்காட்சிக் கருவி
Stimulated emission - தூண்டப்பட்ட உமிழ்வு கதிர்
Strain field - திரிபுப் புலம்
Stream-lined motion - சீர் கோட்டியக்கம்
Stress - இறுக்கம்
Strong nuclear interaction - வலுவுள்ள அணுக்கரு இடைவினை
Structure - கட்டமைப்பு (இயலமைப்பு)
Structure factor - இயலமைப்புக் கூற்றெண்
Structural defects - அமைப்பு வழுக்கள்

Subcritical - கீழ்மாறுநிலை
Sublimation - பதங்கமாதல்
Superconductors - மிகுமின் கடத்திகள்
Superconductivity - மீக்கடத்து திறன்
Superior mirage - மேல் நிலைக் கானல் நீர்
Surface energy - பரப்பு ஆற்றல்
Surface levels - புறப்பரப்பு நிலைகள்
Surface oscillations - மேற்பரப்பு அலைவுகள்
Susceptibility; permeability - உட்புகுதிறன்
Surface tension - பரப்பு இழுவிசை
Sustained oscillations - நிலை அலைவுகள்
Symmetrical - ஒருங்கிசைவு
Symmetric type - சமச்சீர் வகை
Symmetry elements - சமச்சீர் ஆக்கக் கூறுகள்
Symmetry operation - சமச்சீர் செயற்பாடு
Symmetry operator - சமச்சீர் இயக்கி
Symplectic structure - பின்னல் கட்டமைப்பு
Synthetic - செயற்கை
Systems of units - அலகு முறைகள்
Tangential force - தொடுவிசை
Tangential section - தொடுநிலைப் பகுதி
Telescope - தொலைநோக்கி
Theorem - தேற்றம்
Thermal conductivity - வெப்பக் கடத்து திறன்
Thermal expansion - வெப்ப விரிவு
Thermal radiation - வெப்பக் கதிர்வீச்சு
Thermionic emission - வெப்ப அயனி வெளியீடு
Thermocouple - வெப்ப மின்னிரட்டை
Thermodynamic potential Gibbs' funtions - வெப்ப இயக்கவியல் மின்னழுத்தம் கிப்ஸ் சார்பங்கள்
Thermoelectric effect - வெப்பமின் விளைவு
Thermometry - வெப்பநிலை அளவியல்
Thermopile - வெப்ப மின்னிரட்டை அடுக்கு
Thermostat - வெப்பநிலை காப்பான்
Three phase - மும் முனை
Time of flight - பறக்கும் நேரம்
Time like and space like - நேரம் போன்ற, இடம் போன்ற
Torque - சுழற்சி விசை
Torsional vibrations - திருகு அதிர்வுகள்
Total internal reflection - முழு அக எதிரொளிப்பு
Total wave function - மொத்த அலைச் சார்பம்
Trigger இயக்கி
Trajectory - எறிபாதை

Transducer amplifier - ஆற்றல் மாற்றிப் பெருக்கி
Transformation - மாற்றம்
Transformation equations - மாற்றுச் சமன்பாடுகள்
Transformer - மின் மாற்றி
Transformer core - மின்மாற்றி உள்ளகம்
Transfusion - இடைவிரவல்
Transition probability - இடப்பெயர்வு நிகழ்வு தகவு
Transition temperature - பெயர்வு வெப்பநிலை
Translation vectors - இடப்பெயர்வு திசையிகள்
Transmission - செலுத்துகை
Transmutation - அணுக்கரு மாற்றம்
Transpiration - கசிவு
Transuranic elements - புற யுரேனியத் தனிமங்கள்
Transverse - குறுக்கு
Transverse direction - செங்குத்துத் திசை
Transverse mass - குறுக்கு நிறை
Triple point - முப்புள்ளி
Triplet state - மும்மை மட்டம்
Tunnelling - துளைத்துச் செல்லல்
Tunnelling effect - சுரங்கப் பாதை விளைவு
Tunnels - சுரங்கப்பாதைகள்
Turbulent motion - கலக்க ஓட்டம்
Two-fluid model - இரட்டைப் பாய்ம மாதிரி
Ultra centrifuges - மிகைவேக மையவிலக்கிகள்
Ultrasonic - கேளா ஒலிகள்
Ultrasonic echo - மீயெதிரொலி
Ultrasonic wave - மீயொலி அலை
Umklap processes - உம்கிலாப் நிகழ்வு முறைகள்
Uncertainty principle - உறுதிப்பாடிலாமைக் கோட்பாடு
Underwater acoustics - நீரடி ஒலியியல்
Uniaxial crystal - ஓரச்சுப் படிகம
Uni - Junction transistor - ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டர்
Unit cell - அலகு செல்
Unit vector - அலகு திசையி
Universal gas constant - பொது வாயு மாறிலி
Universe - அண்டம்
Unpaired electrons - துணையற்ற எலக்ட்ரான்கள்
Valance band - இணைதிறன் பட்டை
Valence - இணைதிறன்
Vapourisation - ஆவியாதல்
Variational principles - விலக்கி ஆய்தல் நெறிமுறைகள்
Vector - திசையி
Vector atom model - திசையி அணு மாதிரி
Vector field - திசையி புலம்
Velocity focussing method - திசைவேகக் குவிய முறை
Vibrational spectrum - அதிர்வு நிறமாலை
Vicinity - முன்னிலை
Viscosity and coefficient of viscosity - பாகியல் மற்றும் பாகியல்கெழு
Volatilised - பதப்படுத்தல்
Voltage amplification - மின்னழுத்த மிகைப்பு
Voltage gain - மின்னழுத்தப் பெருக்கம்
Voltage wave - மின்னழுத்த அலை
Voltmeter - மின்னழுத்தமானி
Volume energy term - பரும ஆற்றல் தொடர்
Vortex state - சுழல் நிலை
Water vapour - வளிமண்டல நீராவி
Wave function - அலைச் சார்பம்
Wave guides - அலை வழிநடத்திகள்
Wave nature - அலைப்பண்பு
Wave packet - அலைப் பெட்டகம்
Wave - particle - அலை - துகள்
Wave theory - அலைக் கொள்கை
Wave vector - அலைத் திசையி
Weak nuclear interaction - வலுக்குறைவான அணுக்கருஇடைவினை
Zero point energy - சுழி நிலை ஆற்றல்
Zone plate - மண்டலத் தட்டு

"...சென்னைப் பல்கலைக்கழகத்தின் துணைவேந்தர் பேராசிரியர் டாக்டர் ப க பொன்னுசாமி அவர்கள் இந்த அருமையான இயல்பியல் களஞ்சியத்தைத் தொகுத்துத் தமிழ்கூறு நல்லுலகில் உலவ விட்டிருப்பதை உள மகிழ்ச்சியுடன் வரவேற்கிறேன்.

இயல்பியலின் அனைத்து முதன்மை மற்றும் கிளைத் துறைகளிலும் இருந்து நுட்பமாகத் தெரிவு செய்யப்பட்ட 642 கருத்துப் பொருள்கள் இக்களஞ்சியத்தில் விளக்கம் பெற்றுள்ளன. தக்க அறிஞர்களைக் கொண்டு அப்பொருள் ஒவ்வொன்றையும் விளக்குவதற்குரிய தகவல்களை விரிவாகவும் முழுமையாகவும் தரும் சிறிய கட்டுரைகளாக வடித்து, அவற்றைக் குறிப்பு நோக்கீட்டுக்கு உதவும் வகையில் அகர நிரலில் அமைத்து இக்களஞ்சியத்தைப் பயன் மிக்கதாகப் படைத்துள்ளார் தொகுப்பாசிரியர். இக்களஞ்சியத்தின் பதிவுகளில் ஏற்ற இடங்களில் அறிவியல் நிகழ்வுகள், சோதனைகள், கண்டுபிடிப்புகள் ஆகியவற்றின் வரலாறுகளும் குறிப்பிடப்பட்டுள்ளன. தெளிவான கருத்து விளக்கத்திற்குத் துணைபுரியும் வகை யில் தேவையான விளக்கப் படங்களைத் தக்க இடங்களில் தந்துள்ளமை இக்களஞ்சியத்தின் தனிச் சிறப்பாகும்.

...தமிழுக்கும் இயல்பியலுக்கும் ஒரு புதிய பாலமாகத் திகழும் இந்நூல் ஏனைய அறிவியல் துறைகளுக்கும் தமிழுக்கும் இடையே பாலங்கள் பல தோன்றுவதற்குத் தூண்டுகோலாகவும் முன்மாதிரியாகவும் விளங்கி, அறிவியலால் தமிழும், தமிழால் அறிவியலும் ஒருங்கே தழைத்திட உதவும் என நம்புகின்றேன்."

மாண்புமிகு பேராசிரியர் க அன்பழகன்
தமிழ்நாடு கல்வி அமைச்சர்

"...தமிழில் மட்டுமல்ல, ஆங்கிலத்திலும் பயிலும் தமிழ் மாணவச் செல்வங்களுக்கும், ஆசிரியர்களுக்கும் அறிவியலார்வம் கொண்ட எத்துறையினருக்கும் இந்நூல் துணைவன்." (அறிமுகம்)